

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра Інформаційно-вимірювальної техніки

«На правах рукопису»
УДК 62-768.3

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Володимир ЄРЕМЕНКО
« » 20 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: «Інформаційно-діагностична система оцінки параметрів деградації сонячних панелей»

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи Па-91мп
Діхтяренко Б.Р.

Керівник:
професор, д. т. н.
Шевченко К. Л.

Консультант з Стартап-проекту:
викладач кафедри менеджменту, доцент, к.е.н.
Бояринова К. О.

Рецензент:
к.т.н., ст.вик.,
Лисенко Ю. Ю.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет - Приладобудівний

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою «Інформаційно вимірювальні технології та системи»

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»_____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Діхтяренко Богдан Романович_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Інформаційно-діагностична система оцінки параметрів деградації сонячних панелей_____

науковий керівник дисертації Шевченко Костянтин Леонідович, професор, д. т. н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___»_____20__ р. №_____

2. Строк подання студентом дисертації 09.12.2020 р.

3. Об'єкт дослідження Основні елементи діагностичних систем для проведення діагностичних робіт безконтактним методом _____

4. Предмет дослідження (вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Діагностичні системи для перевірки та контролю процесів деградації сонячних панелей _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд існуючих рішень для проведення діагностики. 2. Аналіз методів підвищення надійності та опис технічного рішення. 3.

Дослідження роботи пристрою та його віртуальна модель. 4. Огляд економічної доцільності (розробка стартап проекту). 5. Висновки _____

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

1. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.

2. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	Бояринова К.О., к.е.н., доцент, викладач кафедри менеджменту		

9. Дата видачі завдання 15.09.2020 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих методів діагностичної перевірки сонячних панелей	02.09.20	
2	Огляд системи для безконтактного нанесення інформації	16.09.20	
3	Розробка моделі для опису процесу оцінки параметрів деградації сонячних панелей .	22.10.20	
4	Аналіз результатів	01.11.20	
5	Підготовка та оформлення пояснювальної записки	17.11.20	

Студент

_____ (підпис)

Діхтяренко Б.Р.

_____ (ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Шевченко К. Л.

_____ (ім'я, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Обсяг – 90 сторінок машинописного тексту.

Ілюстрацій – 38 .

Таблиць – 21.

Перелік ключових слів: *Pid, деградація, вольт-амперна характеристика, сонячна панель, засоби вимірювальної техніки.*

Актуальність теми полягає в дослідженні процесу деградації сонячних панелей і проведенні дистанційних діагностичних робіт. В даний час зелена енергетика сильно розвивається і стає доступними для більш широкої аудиторії і користувачі сонячних панелей можуть ставити їх на своїх ділянках. Проблема полягає в тому що на відміну від великих сонячних ферм де є персонал який технічно підготовлений для проведення діагностичних процесів і контролює їх стан, після придбання сонячної панелі у рядового користувача не має можливості проведення будь-яких маніпуляцій з сонячною панеллю без певної технічної освіти . Дана робота висвітлює різноманіття таких систем та пропонує технічне рішення.

Метою дослідження є аналіз методів оцінки деградації сонячних панелей та вибір найдоцільнішого з них, а також його використання безпосередньо в системі.

Задачею дослідження є вибір такого методу, який збільшить надійність та універсальність системи.

Об'єктом дослідження є основні параметри методів оцінки деградації сонячних панелей для дистанційної передачі отримуваних даних.

Предметом дослідження є існуючі методи оцінки та проведення діагностики сонячних панелей.

Результати досліджень демонструють перш за все важливість оцінки системи в загальному, а також те, наскільки правильно підібрано склад системи, та чи раціонально застосовані певні методи й підходи до проектування та дослідження системи.

ABSTRACT

Volume - 90 pages of typewritten text.

Illustrations - 38.

Tables - 21.

List of keywords: Pid, degradation, volt-ampere characteristic, solar panel, measuring equipment.

The relevance of the topic is to study the process of degradation of solar panels and remote diagnostic work. Currently, green energy is developing strongly and is becoming available to a wider audience and users of solar panels can put them on their sites. The problem is that unlike large solar farms where there are staff who are technically trained to conduct diagnostic processes and monitor their condition, after purchasing a solar panel from an ordinary user does not have the ability to perform any manipulation of the solar panel without some technical education. This work highlights the variety of such systems and offers a technical solution.

The purpose of the study is to analyze methods for assessing the degradation of solar panels and the selection of the most appropriate of them, as well as its use directly in the system.

The aim of the study is to choose a method that will increase the reliability and versatility of the system.

The object of research is the main parameters of methods for assessing the degradation of solar panels for remote transmission of data.

The subject of the study is the existing methods of evaluation and diagnostics of solar panels.

The research results demonstrate first of all the importance of evaluating the system in general, as well as how well the composition of the system is chosen, and whether certain methods and approaches to the design and research of the system are rationally applied.

Перелік скорочень

PID – Potential Induced Degradation

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

Зміст

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1.....	10
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	10
1.1 Об’єкт та предмет дослідження	10
1.2 Причини деградації сонячних панелей.....	15
1.3 Як визначити PID (деградацію сонячних панелів)?	20
1.4 Необоротна деградація сонячних панелей.....	21
1.5 ШВИДКІСТЬ ДЕГРАДАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	23
1.6 Огляд існуючих методів діагностики сонячних панелей та їх можливості.....	24
Висновок	31
РОЗДІЛ 2.....	32
ДЕГРАДАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛІВ.....	32
2.1. Загальні відомості.....	32
2.2. Деградації сонячних елементів на основі аморфного кремнію	36
2.3. Деградація полікристалічних тонкоплівкових сонячних елементів	37
2.4. Деградація полікристалічних сонячних елементів.....	40
2.5. Дослідження процесів деградації в різних типах сонячних панелей.....	44
Висновки.	54
РОЗДІЛ 3.	55
РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	55
3.1 Ознайомлення з мікроконтролером Atmega 8	55
3.2 Віртуальна модель та її тестування	62
3.3 Графіки роботи даної системи під час використання її в різних температурних умовах.	67
3.4 Розрахунок та аналіз похибок	68
ВИСНОВОК	71
РОЗДІЛ 4.	72
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ “ІНФОРМАЦІЙНО ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДЕГРАДАЦІЙ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ”	72
4.1 Опис ідеї проекту	72
4.2 Технологічний аудит проекту	75
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	77
4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту	86
4.6 Висновки	90
Джерела використаної літератури.....	91

ВСТУП

Виробники сонячних батарей докладають багато зусиль, впроваджують нові технології, щоб зробити сонячні панелі надійними. Вони повинні бути в змозі протистояти циклічним змінам погоди і навіть екстремальних умов - сильних морозів та спеки. Незважаючи на це, сонячні панелі з часом старіють або деградують - це цілком природний і неминучий процес. Деградацією сонячних батарей (міжнародний термін *potential induced degradation* або PID) називається зниження вироблення електроенергії через фізичних змін в структурі самої панелі. Деградацією сонячних батарей (міжнародний термін *potential induced degradation* або PID) називається зниження вироблення електроенергії через фізичних змін в структурі самої панелі. В результаті деяких явищ формуються паразитні зв'язку між напівпровідниковими осередками і захисним корпусом, ламінуванням або скляним захистом. Через них протікають струми витоку, що зменшують ефективність геліосистеми. Деградують все існуючої конструкції - полікристалічні, монокристалічні, плівкові.

Питання в тому, як швидко це відбувається.

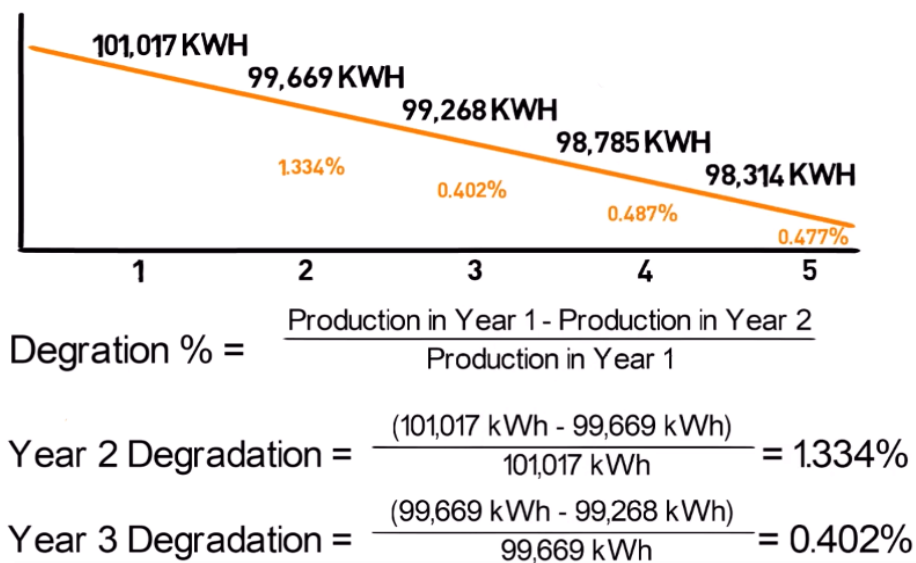


Рис. 1.1 Графік вимірювання деградації сонячних панелей
Формулювання актуальності, мети і завдань проекту

Актуальність роботи.

У наш час складно уявити собі життя без мобільних пристроїв та сучасних засобів які полегшують наше життя. Все це стало можливим завдяки електростанціям які дають доступ до електроенергії та використовуються як джерела живлення портативних пристроїв. Але їх проблема в тому що майже всі працюють на паливі яке закінчується і викидають в повітря багато шкідливих компонентів які забруднюють навколишнє середовище і цим саме пагубно впливають на стан здоров'я людей, тварин та на рослинний світ. Тому зараз набули популярності створення цілих систем які працюють на відновлювальній (чистій енергії) сонячні і вітрові електростанції. Їх проблема полягає в тому що на даний момент часу вони відносно дорого вартісні як в їх виробництві та і в їх обслуговуванні. Тому процес діагностики та контролю при експлуатації зараз стоїть досить актуальний бо дані системи тільки починаються вводитися для більш загальної групи людей і стають більш доступні. Без вчасної діагностики сонячні панелі можуть швидко вийти і з ладу і їх ремонт може бути досить дорого вартісним і я хотів би своїм проектом це спробувати запобігти.

Мета дисертаційної роботи

Ознайомитися з факторами і причинами деградації сонячних панелів та систем побудованих на їх основі. Для вирішення поставленої мети були вирішенні наступні завдання:

1. Визначення основних факторів деградації систем та методи їх ліквідації.
2. Розробка пристрою який зможе ми в реальному часі відслідковувати показники панелі і передавати реальні результати своєї роботи користувачу для подальшої роботи з ними та проведення технічного обслуговування даних установок. На основі плат Arduino.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Об'єкт та предмет дослідження

Сонячна панель — тип збірних панелей для поглинання енергії сонячних променів та її перетворення у електричну чи теплову.

Фотовольтичний модуль — загорнута і електрично з'єднана збірка фотоелектричних комірок (типово 6x10), які об'єднані у фотовольтичну систему для генерації та накопичення електроенергії. Вихідна потужність кожного модуля за стандартних умов використання знаходиться в межах від 100 до 365 ват.

Зазвичай до складу фотовольтичної системи входять панель або група панелей, сонячний перетворювач, а також деколи акумулятор і сонячний трекер.

Вартість сонячної енергії разом з вартістю акумуляторів стрімко знижується, що сприяє широкому застосуванню таких комплексів у промисловості та індивідуальними споживачами. За досягнення мережевого паритету вартість цієї електроенергії стане нижчою від енергії з традиційних невідновлювальних джерел.

Переваги та недоліки



Рис 1.2 Приклад сонячної панелі

Сонячні панелі або фотоелектричні модулі, складаються з окремих фотоелектричних елементів. Ця кристалічна кремній-панель має алюмінієві рами і скло на передній стороні.

Переваги сонячної батареї:

- невелика маса і габарити;
- невисока вартість у порівнянні, наприклад, з паливними елементами;

- простота конструкції;
- тривалий термін експлуатації.

Недоліки:

- неможливість видавати вночі таку ж вихідну потужність, як вдень, що вимагає використання акумулятора або іоністора, який заряджався б вдень для підтримки роботи навантаження в темряві;
- різка залежність вихідної потужності від кута падіння променів на світлочутливу поверхню, що змушує використовувати автоматичні системи орієнтування в просторі;
- неможливість отримати потужність з квадратного метра сонячної батареї більше 0,1 кВт, використовуючи дешеві матеріали;
- швидка деградація фотоелементів в умовах підвищеного радіаційного фону і проникаючої радіації.

ККД сонячних батарей, складених з кремнієвих фотодіодів і випускаються для широкого вжитку, зазвичай досягає 8 %, не більше.^[1]

У спеціалізованих сонячних батарей, фотодіоди яких виконані з арсеніду галію, ККД досягає 20 %.^[1] Сонячні батареї з фотодіодів на основі сульфату кадмію, що випускаються у вигляді тонких гнучких плівок, призначені для електроживлення апаратури космічних станцій і супутників.

При збільшенні температури навколишнього середовища вихідна напруга сонячної батареї падає за лінійним законом.^[1]

Виробники

Найбільшим у світі виробником фотоелектричних панелей є китайська компанія Suntech Power.^[3]

Застосування

В Данії за рахунок сонячної енергії, яка, в основному, використовується для вироблення тепла в приватному секторі, покривається від 1/3 до 3/4 потреби в кожному житловому будинку, а ціна на електроенергію регулюється Міністерством енергетики, і, станом на 2005 рік, становила за курсом до

російського рубля 11руб./кВт-г.^[4] У Німеччині до 70 % витрат на «соляризацію» будинків компенсує держава.^[5] Крім того, державою купується електрика у власників «сонячних дахів» за цінами, що значно перевищують ринкові: коли вдень будинок виробляє енергії багато, а споживає мало, її надлишки йдуть в міську мережу і господар отримує 80 центів за кожен зданий кВт год, вночі ж він сам купує електрику в тій же самій мережі, але вже по 20 центів за кВт год.^[5] У країні обладнують сонячними елементами по 0,5 млн квадратних метрів дахів в рік.^[5]

Цікаві факти

Панелі сонячних батарей було встановлено на третьому радянському супутнику, виведеному на орбіту 15 травня 1958 року.

У межах перегонів Microtransat Challenge влітку 2018 року було встановлено рекорд: вітрильник на сонячних батареях перетнув Атлантичний океан. За 2,5 місяця безпілотний човен довжиною 2,4 м проплив Північною Атлантикою і успішно дійшов до місця призначення. Старт відбувався у Ньюфауленді, завданням суден було добратись до берегів Ірландії. Від початку змагань у 2010 році відбулось уже 20 стартів і тільки норвезький зразок, човен SB Met, зміг обійти усі перешкоди відкритих вод. Це досягнення доводить можливість існування безпілотних кораблів на рівні з безпілотними авто.

Що таке PID?

Про те, що таке PID, вперше довелося задуматися інженерам американського виробника геліопанелей SunPower. Високоефективне обладнання в деяких випадках втрачало до 30% від заявленої заводом потужності за надзвичайно короткий термін.

Причиною цього послужила поляризація - потенціал сонячних панелей щодо землі. Заземлення позитивного електрода дозволило не тільки надійно запобігати деградацію, але і відновлювати роботу агрегатів, вже зазнали цього процесу.

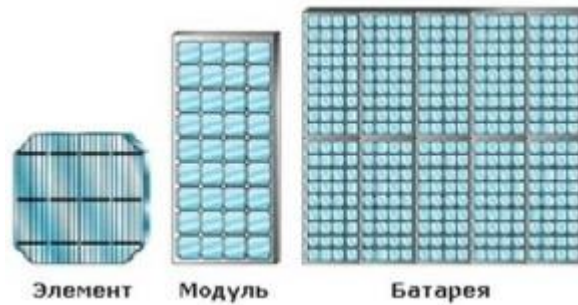


Рис.1.3 Класифікація елементів сонячних панелей

Суттю PID є поява струмів витоку, які спостерігаються в просторах між пластинами напівпровідника і іншими складовими модуля:

- захисного каркаса;
- ламинирующей плівки або матеріалу ПЕТ;
- склом.

Модуль, таким чином, втрачає здатність створювати паспортне вихідна напруга. До цього результату призводить різниця потенціалів між сонячною батареєю (складовими її модулями) і монтажною конструкцією (каркасом з нержавіючої сталі або алюмінію).

Процесу деградації піддаються всі модулі без винятку:

- моно- і полікристалічні;
- тонкоплівкові.

У кожному конкретному випадку вона, проте протікає особливим чином і з різним ступенем інтенсивності. Особливо небажаним процес представляється з тієї точки зору, що проекти будь-яких модульних систем з переробки сонячної енергії в електричну, а також великих сонячних електростанцій припускають безперебійне функціонування протягом не менше, ніж 25-30 років.

Непередбачене значне зменшення їх вироблення в перші ж роки є катастрофою як в технічному, так і в економічному відношенні.

Потенціал сонячної батареї щодо землі

Поляризація виникає, коли поверхня сонячних модулів або їх опорних елементів набуває негативного потенціалу щодо землі. Це можливо не тільки через погано ізольовані контакти. Особливості деяких плівок і скла такі, що для підвищення прозорості в їхній хімічний склад є солі натрію. Іони цього активного металу через дифузію накопичуються в поверхневих шарах і поляризуються.

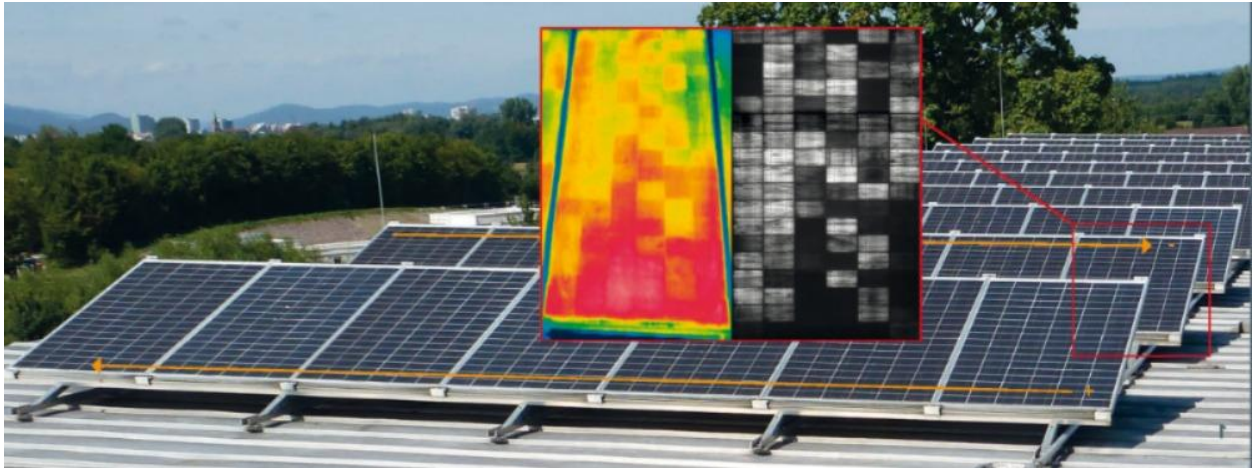


Рис.1.4 Сонячні ферма і температурний вплив при освітленості сонця (робоча сфера роботи панелей)

Поляризація призводить або до короткого замикання рп переходів, або до появи різниці потенціалів на поверхні обладнання. Через PID за відносно короткий термін сонячні електростанції можуть знижувати потужність на 50 - 80% від номіналу, заявленого виробником в техпаспорті. Що не тільки завадить отримувати прибуток, але і не дасть окупити витрати на придбання та монтаж обладнання.

Фактори, які підвищують ризик деградації сонячних панелей:

- Погодні умови (підвищена вологість і температура, їх різкі коливання);
- Попадання сторонніх предметів (пил, листя, лід і т.д.);
- Пошкодження ізоляційного шару;
- Конструкційні помилки;

- Структура дешевих напівпровідникових матеріалів;
- Неправильно підібраний електричний перетворювач.

На погоду люди поки впливати не навчилися. А з іншим можливо впоратися. Контроль якості матеріалів і своєчасне усунення пошкоджень і забруднень, використання спеціальних інверторів струму і заземлення дозволяють продовжити термін роботи сонячних батарей з високою ефективністю.

1.2 Причини деградації сонячних панелей

Дослідження питання допомогли виявити, що рухливість електронів збільшується в міру зростання температури і вологості середовища. Сторонні предмети, що вступають в контакт з поверхнею фотоелектричного модуля, також підсилюють поляризацію.

До основних причин деградації обладнання прийнято зараховувати:

- особливості структури перетворювача системи;
- будова модуля;
- деякі нюанси будови системи;
- вплив зовнішнього середовища.

Навколишнє середовище практично не підлягає контролю, в той час як на інші чинники, що призводять до PID і викликають деградацію сонячних панелей, можна впливати в значній мірі.

Деградація, викликана світлом (LID - від англ. Light Induced Degradation) - виникає, коли сонячна панель вперше піддається впливу сонячної радіації, в результаті її фотопровідність зменшується. Це вважається етапом «настройки» панелі, також званим «початковим погіршенням» або короткостроковій деградацією, і відбувається протягом перших 1000 годин роботи. Ефективність панелей на цьому етапі знижується в середньому на 1-3% і після цього стабілізується. Такий тип деградації притаманний переважно монокристалічним панелям.

Потенційна деградація (PID - від англ. Potential Induced Degradation) - даний тип деградації не завжди відбувається, але якщо це трапиться,

продуктивність панелі може знизитися аж до 30%. Схильні до неї всі типи панелей (моно- і полікристалічні, а також тонкоплівкові). У деяких випадках потенційна деградація може бути оборотною, але цей процес завжди є досить непростю технічною проблемою, яка потребує негайного вирішення. Потенційна деградація виникає, коли різні компоненти в системі знаходяться під різними напругами. Наприклад, при різниці потенціалів між сонячними елементами і рамкою (монтажною конструкцією, алюмінієвим або сталевим каркасом). Таке відхилення викликає витік напруги і, отже, знижує вихідну потужність панелі. Основна причина такого явища - поляризація, тобто потенціал сонячних батарей по відношенню до землі. Запобігти подібну деградацію і навіть відновити роботу вузлів, які піддалися їй, допоможе заземлення позитивного електрода. По суті, потенційна деградація - це поява струмів витоку в порожнинах між пластинами напівпровідника і іншими складовими фотомодуля. Останній при цьому втрачає здатність створювати заявлене «на виході» напруга.

Деградація, пов'язана зі старінням. Сонячні модулі схильні до впливу зовнішніх факторів, що неминуче - це природний знос сонячних панелей. Такі процеси старіння відбуваються через хімічних реакцій в напівпровідниках, що викликають кристалічні затвердіння, а також з-за забруднення фотомодулів, кліматичних умов, погоди, впливу ультрафіолету. Зазвичай даний тип деградації незворотній, і з економічної точки зору сенсу в його усуненні немає.

Структура перетворювачів фотоелектричної системи
Сполуки, присутні в антирефлекторне покритті панелей, як виявилось, можуть сприяти деградації. Їх вплив було виявлено завдяки сучасним фізичним методам досліджень (вторинної іонної мас-спектрометрії), які виявили натрій скла в поверхневому просторі покриття.

Спочатку покриття цього типу (ARC) стали застосовувати з метою збільшення захоплення світлових променів. Завдяки йому досягається зростання коефіцієнта перетворення енергії системи.

Особливості будови модулів геліопанелі
Для того, щоб мінімізувати прояв PID-ефекту, необхідно приділити особливу увагу вибору:

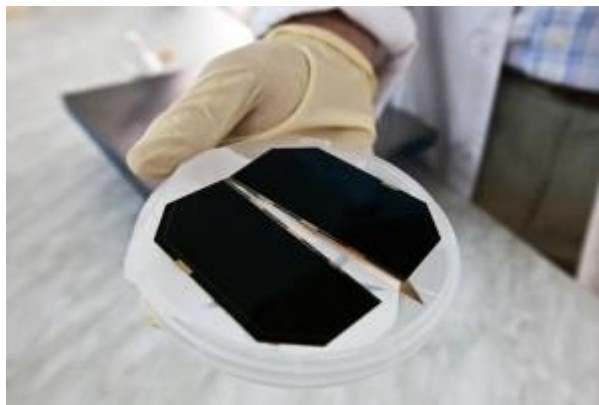


Рис. 1.5 фотоелемент для мінімізування впливу PID ефекту

- фронтального скла;
- матеріалу, призначеного для інкапсулювання;
- дифузійного бар'єру.

Дослідження підтверджують, що одними з найбільш істотних чинників деградації служать інгредієнти натрієво-вапняного скла, а саме ті з них, що відсутні в кварцовому його варіанті.

Основним таким елементом прийнято вважати натрій за фактом його високою електричної активності, однак вплив можуть надавати також кальцій, магній і алюміній.

Матеріали для ламінування модулів відрізняються значною різноманітністю і відрізняються за показниками провідності.

1. Плівка EVA (вінілацетат етилену) відмінно запобігає поляризацію і подальшу деградацію сонячних панелей. На сьогоднішній день вона є кращим матеріалом для інкапсуляції обладнання. Оцтова кислота в її складі може також бути чинником, відповідальним за розчинення іонів металу при так званій корозії скла на його поверхні.
2. Матеріал PVB (полівінілбутираль), навпаки, провокує активізацію процесу деградації геліопанелі. Він практично не чинить опір надходженню рідини, а в результаті зростання її кількості незмінно збільшується і провідність.

Як матеріал для створення дифузійного бар'єру між поверхнею скла і районами напівпровідника з максимальною електричною активністю успішно застосовується двоокис кремнію. Вона відмінно справляється із запобіганням розвитку процесів формування струмів витоку, однак лазерна абляція здатна

залишати невеликі прогалини всередині шару з бар'єрним речовиною, що може створювати певні проблеми в його функціонуванні.

Особливості будови системи
На рівні фотоелектричної системи найбільш значимими факторами деградації служать вхідна напруга і його знак, який залежить від розміщення модуля і типології заземлення. Виходячи з цих показників вибирається тип інвертора.

Залежно від виду заземлення потенціал напруги системи модулів може зазнавати значних змін. Найчастіше PID-ефект пов'язується з негативним знаком напруги у ставленні до заземлення. Докладні дослідження проводилися також в області позитивного потенціалу.

Ємнісні ефекти відіграють важливу роль у формуванні залежності між напругою і деградацією сонячних панелей. Електричні заряди при міграції іонів, що викликається конкретними електричними явищами, зменшують коефіцієнт корисної дії модуля, надаючи вплив на пластини напівпровідника. У будь-якому випадку, аналіз, проведений інженерами компанії SunPower, свідчить про те, що процеси PID піддаються стабілізації в стані, властивому кожному різновиді модуля.

Чому деградують сонячні панелі

Фактором, який може прискорити швидкість деградації, є якість матеріалів, що використовуються при виготовленні панелей. Щоб зберегти низькі ціни, деякі виробники використовують для рами алюміній меншої товщини, що робить конструкцію більш тонкої і вразливою до деградації. Ось чому вибір дешевої сонячної панелі може збільшити ризик її поганої роботи або виходу з ладу деталей системи. У довгостроковій перспективі така економія обійдеться вам дорожче.

Ступінь деградації сонячної батареї і її термін служби залежать від типу панелі. Наприклад, кристалічні панелі мають велику стійкість до нормального зносу, ніж тонкоплівкові, що відображено в їх гарантії і терміні служби. Наприклад, в звичайних умовах кристалічні панелі можуть витримувати екстремальні температури і холоду протягом більше 20 років. Плівкові панелі при таких же умовах прослужать не більше 5 років.

При впливі екстремальних кліматичних умов сонячна панель з кристалічного кремнію (Si) може сильно деградувати. Наприклад, панель, підвладна сильним сніговим навантаженням, вітрам і теплу, втрачає свою структурну цілісність і ефективність. Тоді як швидкість деградації панелей, встановлених в сприятливому кліматі, буде істотно нижче

Проблеми при з'єднанні з іншими елементами. Зазвичай сонячні панелі не є крихкими, практично не схильні до яких-то поломок. Але при з'єднанні їх з іншими елементами сонячної установки або об'єднанні їх в масиви слід дотримуватися обережності. Потрібно враховувати не тільки безпеку сонячних панелей, але і всієї підключеної системи, правильно з'єднувати її елементи відповідно до їх технічними параметрами.

Механічні ушкодження. Хоча виробники використовують гартоване скло для додаткового захисту, постійні навантаження можуть стати причиною мікротріщин в фотоелементах, через що процес деградації може прискоритися. Також може зіпсуватися антивідблискуюче / антиотражающее покриття. Ці руйнування викликає нагрівання поверхні панелей, вплив ультрафіолету і забруднюючих речовин.

Найпоширеніший фактор, що впливає на термін служби і швидкість деградації панелей - забруднення. Крихітні частинки пилу і бруду накопичуються поступово на поверхні сонячної батареї, тим самим знижуючи кількість сонячного світла, одержуваного фотоелементами. Дослідження показали, що через це сонячна панель може втратити близько 1% своєї ефективності. Більш того, ці панелі з більшою ймовірністю втрачають свою потужність через забруднення при установці на плоску поверхню. Хоча сонячні панелі досить легко встановити на плоских дахах, це призводить до накопичення більшої кількості пилу на панелях і, відповідно, більш швидкої їх деградації.

Велику роль в деградації грають погодні катаклізми. Сильні шквали, урагани, бурі, сніг, град, що впали гілки дерев з-за вітру - всі ці фактори можуть значно пошкодити сонячні батареї і прискорити їх деградацію. Це

потрібно враховувати при установці панелей, наприклад, вибрати місця в значній віддалі від дерев.

Загрозу структурної цілісності сонячної панелі несуть також птиці, які люблять влаштовувати гнізда під панелями.

Приймаючи рішення про покупку сонячних панелей, обов'язково враховуйте ступінь їх деградації, оскільки в результаті цей показник може вплинути термін окупності установки.

Знаючи основні причини деградації, можна згладити деякі моменти і спробувати уповільнити її в тих випадках, в яких це можливо.

1.3 Як визначити PID (деградацію сонячних панелів)?

Якщо ваш домашній або комерційна сонячна електростанція ще на гарантії, але навіть при ясній погоді не дає заявленої в техпаспорті напруги або сили струму - можливо, це втрата потужності через реверсивну деградації сонячних панелей. Як в цьому переконатися, щоб усунути проблему?

1. Визначення на рівні фотоелемента. Виміряйте напругу на контактах. Якщо є відхилення від проектної потужності при оптимальних показниках освітлення і температури - виміряйте показники на оточуючих поверхнях. На них не повинно бути статичного заряду. Є? Це PID.

2. Визначення на рівні панелі. Можна побачити відмінність в роботі окремих елементів сонячної панелі, якщо застосувати ЕЛ тест. Потрібен стенд з телеметричним обладнанням, а на фотоелементи треба подати живлення з зворотною напругою. На екранах стенду дуже чітко видно, що пошкоджені осередки мають темне забарвлення. Чим більше уражених рп переходів - тим темніше.

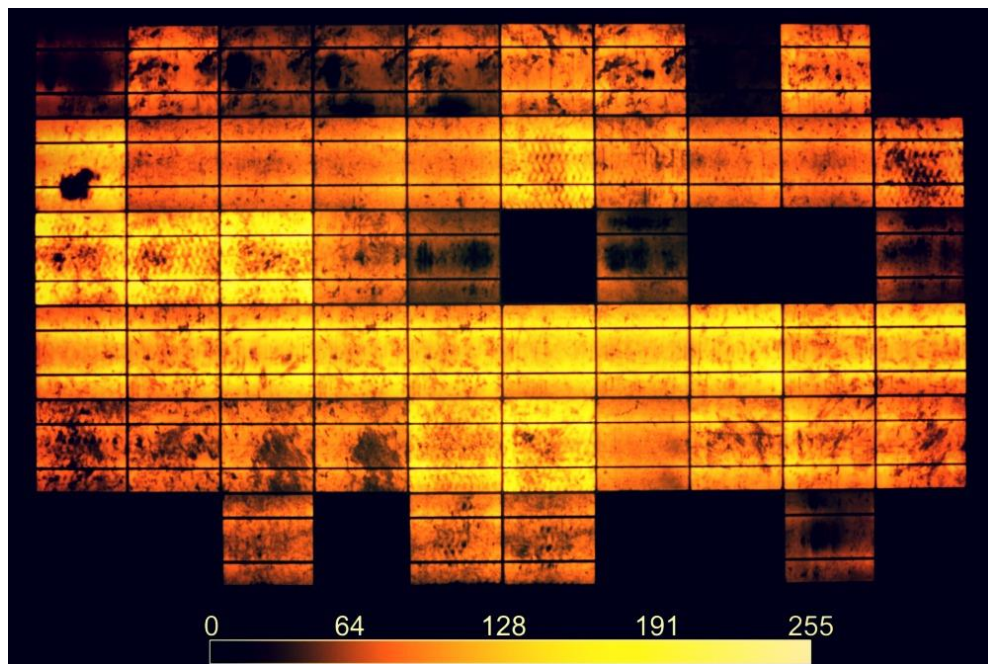


Рис.1.6 Визначення пошкоджених фотоелементів за допомогою телеметричного обладнання

3. Визначення на рівні ланцюжка сонячних батарей. Виміряйте показники на крайніх панелях, якщо вони з'єднані послідовно. Потім вимірюйте показники від найдавшої в найближчу щодо інвертора. Якщо порушена пропорційність зростання напруги від модуля до модуля - треба вживати заходів проти поляризації.

Залежно від типу сонячних панелей і різновиди інвертора рішенням проблеми можуть бути заземлення опор або використання PID Vox, або заміна пошкоджених модулів. І не забувайте про елементарне очищення поверхонь від пилу.

1.4 Необоротна деградація сонячних панелей

Необоротну деградацію сонячних панелей викликають процеси корозії металів і руйнування скляних або полімерних елементів під впливом різних факторів. Ними можуть бути:

- волога

- температура
- ультрафіолетове випромінювання
- Случайное механічні пошкодження

Волога потрапляє на металеві частини конструкції у вигляді дощу, снігу, туману, ранкової роси, конденсації побутових або промислових випарів. Зазвичай метал, який використовується для зовнішніх робіт, має захисні покриття - фарбу, полімерні плівки або домішки антикорозійних сполук в хімічному складі. Але під впливом часу, температури і від пошкоджень захист втрачає свої властивості.

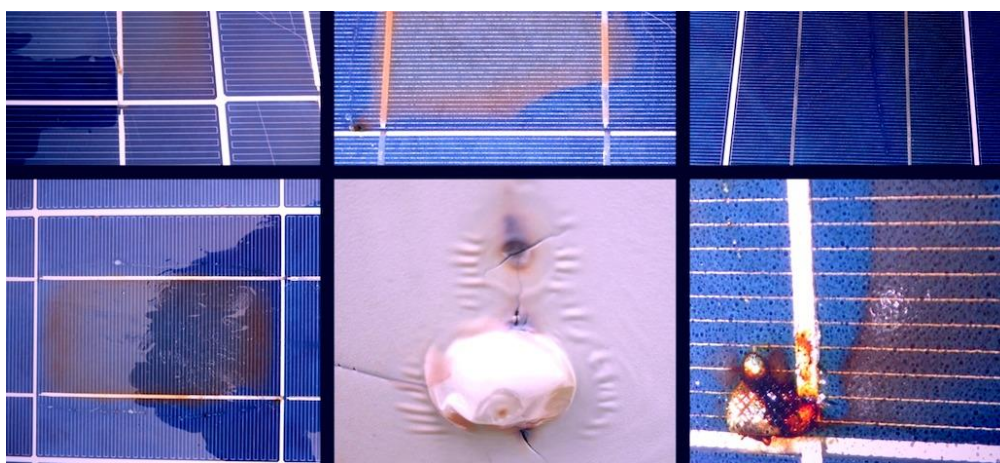


Рис.1.7 Пошкодження сонячних панелей через вологу при не герметичній конструкції та результати пошкоджень

Коливання температур шкодить і неметалічних складовим сонячних модулів. Спочатку з'являються мікро-тріщини, в які потрапляє волога замерзає і розширює їх. Накопичується пил, що має до того ж абразивні властивості - скляні і плівкові поверхні втрачають прозорість, тому напівпровідникові компоненти отримують менше сонячної енергії, як наслідок - знижують потужність.

Ультрафіолет майже не діє на скло, але полімерні плівки дуже чутливі до його впливу. Тому тонкоплівкові сонячні панелі мають значно менший термін гарантії, ніж моно- або полікристалічні. Але і серед плівок є чемпіони і аутсайдири - кращим з них покриттям для фотоелементів вважається

етілвінілацетат (EVA), гіршим - поліетилен або поліпропілен. Але до складу EVA входить оцтова кислота, і вже вона становить корозійну загрозу для інших з'єднань.

А від незворотної деградації сонячних батарей в результаті випадкових механічних пошкоджень не убережеться ніхто. Град, сильний вітер, падіння птиці або необережне поводження при обслуговуванні можуть зруйнувати цілісність захисного шару або всієї конструкції в залежності від прикладеного сили.

Але не все так погано. Всі ризики прораховані виробниками і обладнання побутової або комерційної сонячної електростанції має шанси ефективно опрацювати відведений термін. Якщо, звичайно, запобігли поляризаційної деградації сонячних батарей.

1.5 ШВИДКІСТЬ ДЕГРАДАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Деградація сонячної батареї означає, що установка з часом втрачає свою вихідну потужність. Цей процес може бути викликаний, наприклад, зовнішніми факторами, на які людина вплинути не може - впливом ультрафіолету і змінами погоди. Але є й інші причини старіння, про які ми поговоримо нижче. Потрібно розуміти, що деградація - абсолютно нормальний процес, і це рано чи пізно станеться. Деградують абсолютно все сонячні панелі. Правда, з різним ступенем і швидкістю - більшість якісних панелей часто мають до 90% ефективності виробництва навіть через 20-25 років роботи. Ступінь деградації сонячних батарей зазвичай враховується в гарантії якості продукції від їх виробників.

У перший рік експлуатації сонячні батареї зазвичай піддаються короткочасної деградації в діапазоні від менш 1% до 3%. Після цього, згідно з рядом досліджень, їх продуктивність знижується в середньому на 0,8% до 0,9% щорічно.

Наприклад, якщо короткострокова деградація панелі в перший рік складе 2%, то на другому році роботи такі панелі будуть працювати на 98% від їх первісної продуктивності. Надалі, якщо припустити, що кожен рік

продуктивність панелей буде знижуватися на 0,8%, тому в 25 років свого «корисного терміну служби вони все одно будуть працювати досить ефективно - цей показник складе 78,8%.

Таким чином, щоб визначити приблизну прогнозовану потужність сонячних панелей через N-е кількість років, потрібно помножити ступінь деградації на це кількість років (очікуваної роботи панелей) і відняти число, що вийшло з 100 (%).

Зауважимо, що якісні сонячні панелі деградують менш інтенсивно, швидкість їх деградації зазвичай менше і тому зниження ефективності не буде занадто сильно впливати на продуктивність всієї вашої системи. Ступінь деградації можна приблизно оцінити ще в момент покупки - зазвичай бренди, що випускають сонячні панелі, заявляють ці показники в своїй гарантії на ефективність. Не забудьте також оцінити і гарантію на продукт (обладнання) - виробничі дефекти теж впливають на термін служби панелей і їх вихідну потужність. Гарантія продуктивності вашої сонячної панелі, яка становить у сучасних панелей 20-25 років (іноді доходить до 30 років), дасть вам приблизне уявлення про те, яка кількість електроенергії буде генерувати ваша сонячна панель, і як воно буде змінюватися з плином часу.

Врахуйте, що виробники сонячних панелей дають гарантію з «запасом міцності» - тобто в процесі роботи панель може працювати довше, ніж заявлено в гарантії. Наприклад, якщо виробник обіцяє, що через 20-25 років панель буде працювати з ефективністю близько 80% від початкової величини, то на практиці найчастіше деградація буде нижче і складе 10-12%.

1.6 Огляд існуючих методів діагностики сонячних панелей та їх можливості

Метод перевірки тепловізорного камерами

Якість сонячних модулів - це основний фактор, який впливає на отримання, переробку і збереження сонячної енергії. Від нього прямо пропорційно залежить тривалість дієздатності всієї системи електростанції. Окупність сонячної енергостанції і її здатність безперебійно працювати тісно пов'язані з ефективністю роботи відповідних установок. Для того, щоб зробити діагностику

модулів сонячних батарей, можна провести їх обстеження безпосередньо після закінчення монтажних робіт.

Якщо використовувати під час виробництва сонячних батарей фото ланок неякісного складу, то з часом можливе виникнення такої проблеми, як локальний перегрів ділянок. Виявити подібні неполадки можливо за допомогою тепловізорів, - такий прилад дозволяє найбільш оптимально і раціонально досліджувати систему. Всі дефекти фото ланок ясно і чітко можна розглянути на тепловому зображенні відповідних камер. Тепловізорного прилади дозволяють перевірити установки безпосередньо під час роботи сонячних панелей. Всі можливі і явні проблеми можна своєчасно виявити, використовуючи тепловізори, навіть до моменту повного відключення системи з робочого стану. Однак, не кожна тепловізорна камера підходить для діагностування сонячних батарей, тому потрібно уважно і відповідально поставитися до цього питання.

Особливості тепловізорних камер

Переносні тепловізорного камери, які не мають охолоджуючий детектор, досить чутливі до «ловлі» коливань (8-14 мкм). З огляду на те, що захисна площа сонячних установок не прозора, тепловізорна камера «бачить» теплові випромінювання на поверхні скла і непряме розподіл в ланках модулів (якщо перевіряти фронтальну поверхню). Це означає, що температура, яку вимірювали на поверхні модуля, буде відрізняється. Для якісного і точного визначення температурних показників потрібно щоб чутливість камери становила ≤ 0.08 К. Розширене властивість тепловізорного пристрою повинна бути не менше 320 * 240 пікселів. Наявність ручного врегулювання діапазону значно полегшить завдання.

Методи перевірок сонячних батарей тепловізором

Результати даного методу вважаються ключовим показником якості зразка. Однак часто забувають про відповідну інтерпретації результатів в поєднанні з іншими аналітичними методами.

Діагностику проробляють на рівні сонячної інсоляції 500 Вт / м². Це забезпечує потрібний тепловий контраст і чіткі термографічні вимірювання. Ідеальною умовою для проведення тестування буде сонячна зимова погода. Ще одним вирішальним фактором є вірно підібраний кут огляду тепловізора щодо площі сонячних модулів. Точна позиція приладу дозволяє уникнути помилок під час діагностики фото ланок. «Зелений сектор» з кутом в 5-60 ° - рекомендована позиція огляду для термографічної діагностики. Такий стан дозволяє просканувати внутрішнє становище модулів (бажано проводити термографію нижній частині сонячної батареї). Дана методика дозволяє зменшити непотрібні сонячні і хмарні відображення на склі. На задній стороні контраст температурних показників буде вище завдяки безпосередньому виміру поверхні сонячних модулів. Панелі тестують в звичайних робочих умовах під час енергетичного навантаження. Різновиди фото ланок, вимірювання без навантажень і під час коротких замикань модулів - це ті чинники, які визначають додаткові дані про робочі параметри сонячних батарей.

Дефекти сонячних батарей, які можна визначити під час застосування тепловізора в діагностиці

Частини сонячної батареї, які при дотику гарячі, ясно і точно відображаються на моніторі теплової камери. Саме ці частини вказують на певні неполадки модулів завдяки формі і розташуванню так званих «гарячих плям» на поверхні фото ланок. Буває дещо інша ситуація - сонячна батареї тепліше при дотику, ніж була до цього. Це показник проблем з підключенням системи. Нагрівання окремих фото ланок або цілих смуг батареї свідчить про дефекти в діодних підключеннях, про короткі замикання в середині системи, а також про внутрішні пошкодження фото кристалів.

Можливі дефекти:

1. «Смугові» дефекти зворотних діодів;
2. Червоні плями свідчать про високу потужності ланок, а також показують пошкоджені місця;
3. Фізичні дефекти і механічні пошкодження елементів установки можна виявити за наявністю великої «гарячої точки».

Тестування і діагностика сонячних панелей з використанням тепловізорних камер дає точний показник пошкодження окремих елементів і всієї системи в цілому, а також виявляє проблеми з електричними з'єднаннями.

AV АНАЛІЗ - ТЕСТ СПАЛАХОМ

- вольт-ампер характеристики вимірювання за допомогою каліброваного тестера фотоелектричних панелей.
- Він працює в якості основного методу оцінки ефективності фотоелектричних панелей і її можливих коливаннях.
- Він використовується як визначального критерію для стандартних проблем електричних характеристик панелі.

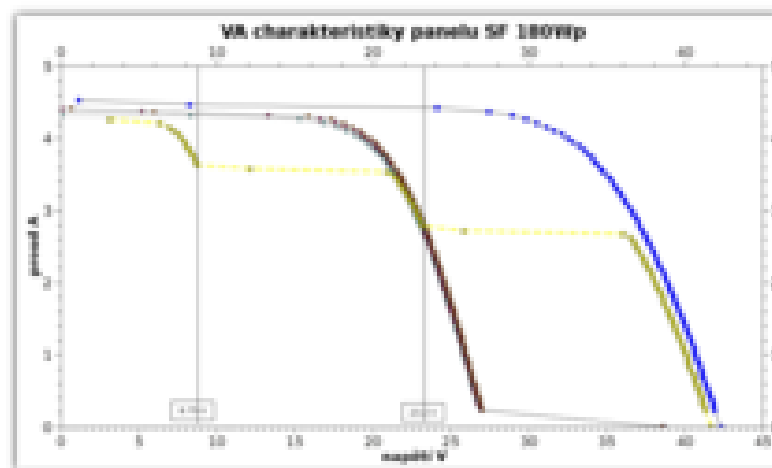


Рис 1.8 Вольт-амперна характеристика сонячної панелі

Для більш точної оцінки зниження потужності панелі, і викликали це причин, необхідно використовувати один з наступних діагностичних методів:

Електролюмінесценція

Даний метод заснований на фотографуванні і показує розподіл світла, випромінюваного окремими сонячними елементами в перевіряється сонячному модулі. Струм необхідно пропустити через сонячні елементи в прямому напрямку. Для фіксування зображення використовуються фотоапарати CCD.

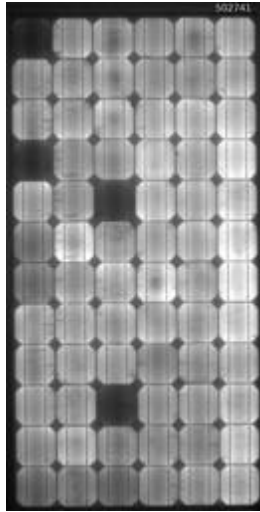


Рис 1.9 Приклад електролюмінесценції для перевірки сонячної панелі

- Даний метод візуалізує розподіл струму в окремих сонячних елементах і виявляє неоднорідність і локальні дефекти.
- Зображення отримане методом електролюмінесценції показує темні і світлі зони: повністю функціонуючий монокристаллический сонячний елемент має рівномірний розподіл світлого кольору. У полікристалічних кремнієвих сонячних елементах дефекти структури і гранулярні кордону чітко простежуються.

Які дефекти можна виявити за допомогою електролюмінесценції?

- Тріщини і мікротріщини в сонячних елементах.
- Порушення в металевих з'єднаннях окремих сонячних елементів.
- Електрично неактивні частини модуля (частини елемента або цілого ланцюга).
- Інші неоднорідності - виявлення технологічних помилок, які проявляються вже до інкапсуляції елементів в сонячних модулях (неоднорідний випал проводять паст, дифузія, пр.).

МОБІЛЬНИЙ ВИМІР кривих IV

Даний метод ефективний для оцінки електричних характеристик окремих сонячних модулів або ланцюгів в цілому (до 100 кВт-пік). Вимірювання

здійснюється безпосередньо на місці розміщення сонячної електростанції в умовах природного сонячного освітлення.

Суть даного методу:

- виявлення вольтамперних характеристик варіацій в панелях без трудомістких і дорогих випробувань в лабораторії,
- визначення несправних рядів на панелі.
- точне вимірювання температури і інтенсивності освітлення панелі по калібровані піранометра (ISO 9060:-1990 (E) Другий стандарт).

Метод порівняння вольтамперних характеристик

Досить простий спосіб, при якому порівнюється реальна вольтамперна характеристика (для більшої достовірності краще проводити порівняння за кількома параметрами одночасно) з даними, які були отримані при введенні сонячної електростанції в експлуатацію. При цьому категорично не можна користуватися заводськими даними, адже вони були отримані при практично ідеальних умовах. При введенні сонячної електростанції в експлуатацію необхідно провести цілий ряд енергетичних тестів — вони будуть дуже важливі для подальшої оцінки ефективності роботи станції (їх ще називають базовий рівень). Надійні і точні вимірювання потоку сонячного випромінювання нададуть змогу створити базу даних про ефективність і продуктивності сонячної електростанції в різних природних умовах. Ця база стане в нагоді як для прогнозування обсягів вироблення енергії, так і оцінки термінів окупності проекту.

Слід розуміти, що максимально точні дані для порівняння можна отримати тільки в тому випадку, якщо вони отримані при таких же погодних умовах, що і базові. Оскільки на практиці таке здійснити складно, зазвичай дані фіксують кілька днів, щоб отримати усереднені значення, які порівнюють з базовими показниками, зафіксованими при аналогічних погодно-кліматичних умовах.

Основний недолік цього способу — він не враховує старіння модулів або вихід з ладу деяких з них (ця похибка буде тільки збільшуватися з часом, хоча є методи, які дозволяють її компенсувати), втрати під час перетворення

електроенергії з постійного струму на змінний, тощо. Крім того, варто мати на увазі і похибки використовуваних вимірювальних приладів, тому отримані дані будуть мати похибку порядку $\pm 2\%$.

Метод пробного миття

Можливість порівняти результати генерування електрики до і після миття на прикладі контрольної групи панелей. Для цього вибирають або групу панелей, розташованих посередині масиву (приймаючи розподіл забрудненості приблизно рівномірним), або взявши окремі панелі в різних місцях станції. Знявши вольтамперну характеристику, миють панелі і знімають повторні дані при приблизно схожих погодних умовах і в той же час. Порівнявши результат, можна визначити приріст генерації і наскільки в цілому виправдано миття панелей по всьому масиву.

Метод контрольної сонячної панелі

З однієї сонячної батареї (або декількох, які розташовані в різних частинах великого масиву) проводиться постійний або періодичний контроль генерації електрики. Зниження обсягів генерації нижче певного рівня зажадає розгляду і пошуку причин зниження ефективності, однією з яких якраз і може стати запиленість.

Термопарні піранометри

Вже досить давно використовуються в метеорологічних спостереженнях і на кліматичних станціях. Цей прилад дозволяє заміряти сумарний потік сонячної енергії, який потрапляє на площину. Термопарний датчик надійно захищений від зовнішнього впливу одним або двома напівсферичними сонячними ковпаками. Сучасні сонячні інвертори мають вхід для підключення піранометра, який дозволяє виміряти ефективність функціонування сонячної батареї, яка підключена саме до цього інвертору.

Для дотримання точності вимірювань, піранометр необхідно встановити в такому ж напрямку і під таким же кутом, як встановлена сама сонячна батарея. Так як термопарні піранометри мають пласку і широку спектральну чутливість, то вони можуть точно виміряти всю щільність сонячного потоку, яка потрапляє

на площину фотоелектричної панелі. Отримані результати дозволяють легко сформулювати висновок, наскільки ефективно панель приймає і переробляє потрапляє на її площину сонячну енергію.

Висновок

Проблема майже всіх сучасних методів для діагностики сонячних панелей полягає в тому що вона потребує без посереднього втручення людини і не дає можливість віддаленого контролю роботи за даними системами і в цьому полягає проблема. На приватних ділянках і на кришах багато по верхівок де немає можливості встановлення великих сонячних ферм проводити зорову діагностику просто бо дані системи знаходяться поруч з власником і в нього є можливість для їх контролю, але в зв'язку з тим що створюють великі ферми по площі та на відкритих ділянках для найбільшої ефективності вони не знаходяться в пішій доступності для власники і немає цілодобового контролю цих панелей тільки періодичне і вчасного реагування на раптову проблему не буде і це призводить до виходу з робочого стану панель і стає питання про її ремонтпригідність.

РОЗДІЛ 2

ДЕГРАДАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛІВ

2.1. Загальні відомості

Процес деградації продуктивності фотоелектричних модулів (Potential Induced Degradation), в подальшому скорочено PID, це значне погіршення властивостей модулів в часі, зниження ККД до 95%, є найбільш небажаним явищем для будь-яких сонячних панелей.

Процесу деградації піддаються всі модулі без винятку: моно і полікристалічні; тонко плівкові. У кожному конкретному випадку вона, проте протікає особливим чином і з різним ступенем інтенсивності. Особливо небажаним процес представляється з тієї точки зору, що проекти будь-яких модульних систем з переробки сонячної енергії в електричну, а також великих сонячних електростанцій припускають безперебійне функціонування протягом не менше, ніж 25-30 років.

Непередбачене значне зменшення їх вироблення в перші ж роки є катастрофою як в технічному, так і в економічному відношенні.

Причини деградації сонячних панелей:

Дослідження питання допомогли виявити, що рухливість електронів збільшується в міру зростання температури і вологості середовища. Сторонні предмети, що вступають в контакт з поверхнею фотоелектричного модуля, також підсилюють поляризацію.

До основних причин деградації обладнання прийнято зараховувати: особливості структури перетворювача системи; будова модуля; деякі нюанси будови системи; вплив зовнішнього середовища.

Навколишнє середовище практично не підлягає контролю, в той час як на інші чинники, що призводять до PID і викликають деградацію сонячних панелей, можна впливати в значній мірі.

Структура перетворювачів фотоелектричної системи:

Сполуки, присутні в анти рефлекторне покритті панелей, як виявилось, можуть сприяти деградації. Їх вплив було виявлено завдяки сучасним фізичним

методам досліджень (вторинної іонної мас-спектрометрії), які виявили натрій скла в поверхневому просторі покриття.

Спочатку покриття цього типу (ARC) стали застосовувати з метою збільшення захоплення світлових променів. Завдяки йому досягається зростання коефіцієнта перетворення енергії системи.

Особливості будови модулів геліопанелі:

Для того, щоб мінімізувати прояв PID-ефекту, необхідно приділити особливу увагу вибору: фронтального скла; матеріалу, призначеного для інкапсулювання; дифузійного бар'єру.

Дослідження підтверджують, що одними з найбільш істотних факторів деградації служать інгредієнти натрієво-вапняного скла, а саме ті з них, що відсутні в кварцовому його варіанті.

Основним таким елементом прийнято вважати натрій за фактом його високою електричної активності, однак вплив можуть надавати також кальцій, магній і алюміній.

Матеріали для ламінування модулів відрізняються значною різноманітністю і відрізняються за показниками провідності.

1) Плівка EVA (вінілацетат етилену) відмінно запобігає поляризацію і подальшу деградацію сонячних панелей. На сьогоднішній день вона є кращим матеріалом для інкапсуляції обладнання. Оцтова кислота в її складі може також бути чинником, відповідальним за розчинення іонів металу при так званій корозії скла на його поверхні.

2) Матеріал PVB (полівінілбутіраль), навпаки, провокує активізацію процесу деградації геліопанелі. Він практично не чинить опір надходженню рідини, а в результаті зростання її кількості незмінно збільшується і провідність.

Як матеріал для створення дифузійного бар'єру між поверхнею скла і районами напівпровідника з максимальною електричною активністю успішно застосовується двоокис кремнію. Вона відмінно справляється із запобіганням розвитку процесів формування струмів витоку, однак лазерна абляція здатна залишати невеликі прогалини всередині шару з бар'єрним речовиною, що може створювати певні проблеми в його функціонуванні.

Особливості будови системи:

На рівні фотоелектричної системи найбільш значимими факторами деградації служать вхідна напруга і його знак, який залежить від розміщення модуля і типології заземлення. Виходячи з цих показників вибирається тип інвертора.

Залежно від виду заземлення потенціал напруги системи модулів може зазнавати значних змін.

Найчастіше PID-ефект пов'язується з негативним знаком напруги у ставленні до заземлення. Докладні дослідження проводилися також в області позитивного потенціалу.

Ємнісні ефекти відіграють важливу роль у формуванні залежності між напругою і деградацією сонячних панелей. Електричні заряди при міграції іонів, що викликається конкретними електричними явищами, зменшують коефіцієнт корисної дії модуля, надаючи вплив на пластини напівпровідника.

У будь-якому випадку, аналіз, проведений інженерами компанії SunPower, свідчить про те, що процеси PID піддаються стабілізації в стані, властивому кожному різновиді модуля.

Вплив факторів навколишнього середовища:

Експериментально доведеним є той факт, що рост показників температури і відносної вологості знижують результативність функціонування сонячних батарей і електростанцій на їх основі. Особливо руйнівний вплив надають: високі вологість і температура середовища і устаткування, що діють одночасно; перепади показників температури; регулярно мають місце цикли відтавання і замерзання води.

В останньому випадку струм витоку посилюється через руйнування цілісності ламінованої плівки EVA. Це призводить до зниження її опору процесу деградації панелі.

Методи визначення PID:

Основною ознакою деградації сонячних панелей служить зниження ефективності їх роботи, що не піддається поясненню.

1) Найпростішим способом виявлення PID в конкретному модулі або їх системі є завмер показників напруги холостого ходу. Для його проведення досить використовувати звичайний вольтметр. Нерідко процес зачіпає тільки одну з частин ланцюжка, що розташовується ближче до позитивного або негативного полюса.

2) В разі коли доступ до модулів ланцюжка утруднений, виявити деградацію допомагає метод електролюмінесценції.

Тестування на сприйнятливість до деградації модулів в спеціалізованих центрах сертифікації і лабораторіях становить невід'ємну частину технологій сучасної сонячної енергетики. Воно є також необхідним кроком для отримання фінансування проекту в даній сфері.

Залежно від характеру діючих факторів деградація обладнання може бути оборотною або незворотною.

1) Ефект поверхневої поляризації, з яким зіткнулися співробітники заводу SunPower в 2005 р, відноситься до оборотної різновиди деградації. Він створює стабільне накопичення статичного заряду на поверхні деталей модуля, яке, однак, вдається нейтралізувати з поверненням до повної вихідної потужності обладнання. Розвиток ситуації цього типу пов'язують з переходом іонів натрію від фронтального скла до фотоелектричним перетворювачів.

2) Необоротна деградація зазвичай викликається порушеннями в структурі агрегату. На їх появу можуть впливати перепади температури, особливо цикли заморозки і відтавання, проникнення води та інших рідин в значному обсязі під зовнішнє покриття і покликану забезпечити герметичність ламінованої плівки. Процес першого типу часто зустрічається в системах з кристалічними кремнієвими елементами, в той час як необоротна PID найбільшою мірою характерна для тонкоплівкових модулів. Її поява обумовлюється електрохімічними реакціями, що приводять до корозії, пошкодження обладнання, розшарування складових елементів модуля.

Необоротна деградація сонячних панелей є серйозною проблемою, яка загрожує втратою дорогої техніки і економічним провалом значущих для розвитку сектора сонячної та альтернативної енергетики проектів. Даний процес

вимагає негайного реагування, виявлення причин відбувається витoku і мінімізації збитків.

2.2. Деградації сонячних елементів на основі аморфного кремнію

Ефект деградації під дією світла характерний для всіх СЕ першого покоління, проте для сонячних батарей другого покоління на основі a-Si: H подібний механізм деградації на сьогоднішній день є основним. Перші згадки про взаємозв'язок деградації даного матеріалу з падаючим на нього світлом були опубліковані в статті

[27]. Прізвища авторів дали назву ефекту, тому сьогодні, маючи на увазі деградацію СЕ на основі aSi: H під дією світла, кажуть про ефект Стеблер - Вронського. Суть ефекту полягає в тому, що темна провідність і фотопровідність шару тонкоплівкового аморфного кремнію, отриманого методом осадження з плазми тліючого розряду, істотно знижуються, якщо зразок піддавався під дією світла.

У статті [27] було виявлено, що процес зменшення провідності є оборотним: при тривалому відпалі ($> 150^{\circ}\text{C}$) провідність зразка можна було відновити практично повністю. На ранніх стадіях розвитку теорії ефекту Стеблер - Вронського було висловлено припущення, що причиною подібного явища були слабкі зв'язки SiSi: фотоіндукованого носії заряду в кінцевому підсумку рекомбінували, що виділилася енергії виявлялося достатньо, щоб зруйнувати ці слабкі зв'язки, атом водню пасивувати зв'язок одного з атомів, але зв'язок другого атома виявлялася обірваною. Як наслідок підвищувалася кількість дефектів, і рівень Фермі зміщувався ближче до центру забороненої зони, провідність матеріалу зменшувалася [28]. У наступних роботах [29], [30] було показано, що основними факторами, що визначають деградацію, викликану світлом, можуть бути не рівномірність решітки a-Si: H, поведінка комплексів на основі водню, поведінку домішок інших речовин. В роботі [31] наведені результати експериментів зі зразками дуже високої чистоти. Тільки при концентраціях домішки кисню понад 10^{18} см^{-3} спостерігалася слабка кореляція концентрації кисню з темпом деградації. Починаючи з цієї роботи, всі наступні дослідники займалися головним проБразил вивченням енергетичних станів водню і

комплексів на його основі в аморфному кремнії. Також вивчення процесів утворення дефектів було присвячено значну кількість статей.

До 2000 року вважалося, що ефект Стеблер - Вронського, в цілому, зрозумілий і залишилося розібратися лише з механізмами транспорту водню в товщі a-Si: H [27], але останні дослідження ставлять все нові питання. Так було показано [28], що:

- зв'язок концентрації водню з темпом деградації не очевидна,
- ефект Стеблер - Вронського спостерігається навіть при температурі 4,2K, при цьому темп деградації мало відрізняється від аналогічного при 300K
- концентрація і тип дефектів, утворених світлом, залежить, в тому числі, і від умов опромінення,
- опромінення зразків a-Si: H викликає не тільки утворення дефектів, але і є причиною серйозних структурних змін в матеріалі.

Так, наприклад, в роботі [15] було продемонстровано спосіб відновлення величин FF світлом, інтенсивність якого менше, ніж інтенсивність початкового джерела світла.

Засвітка таким же світлом зразка, який спочатку був деградований в результаті освітлення інтенсивністю в 10 сонць, відновила FF з 0.52 до 0.58. Аналогічні результати були отримані для твору μntn , в той час як подібна кореляція для концентрації дефектів не було виявлено.

У роботах [16,17-19], було показано, що можливо значно зменшити вплив ефекту Стеблер - Вронського на сонячну батарею даного типу при додаванні чистого водню до силанов під час напилення технологічних шарів. При цьому якщо концентрація водню в силанов перевищує деяку порогову величину, замість аморфного кремнію виходить кремній мікрокристалічний. Перехід від мікрокристалічної фази до фази аморфної залежить не тільки від концентрації домішки водню в силанов $R = [\text{H}_2] / [\text{SiH}_4]$, але і товщини одержуваної плівки. Співвідношення аморфна фаза / мікрокристалічна фаза залежить також і від інших технологічних параметрів, таких як матеріал підкладки і її температура, швидкість нанесення плівки, робоча частота магнетрона.

2.3. Деградація полікристалічних тонкопліткових сонячних елементів

Специфіка деградації сонячних батарей на основі CdTe зводиться до наступних фактів [20, 21 - 22]:

- мінімальні відмінності в технології призводять до серйозних відмінностей в характеристиках зразків: навіть в одному промисловому партії можна виявити зразки з великим розкидом параметрів сонячної батареї;
- відзначається існування виключно стабільних зразків, не схильних до старіння, крім того, деякі зразки навіть демонстрували збільшення ККД з часом;
- темп деградації сонячних батарей, що спостерігається в режимі холостого ходу, вище, ніж в режимі оптимального навантаження і короткого замикання;
- темп деградації збільшується при зростанні температури;
- у міру деградації дефектність решітки підвищується

Достовірного пояснення такої поведінки сонячних батарей до сих пір немає. Однак існує кілька гіпотез, що пропонують різні механізми деградації. Однією з перших спроб пояснити механізми деградації полягала в розгляді процесів генерації дефектів під дією світла. Однак ця теорія не змогла пояснити існування стійких до деградації зразків. Найбільш популярними в даний час є теорії електроміграції, головним чином міді з металевих контактів до кордону розділу CdTe - CdS по межкристалитного кордонів. Численні дослідження з мідними контактами і без них впевнено демонструють кореляцію деградації напруги холостого ходу і коефіцієнта заповнення з накопиченням міді на кордоні двох напівпровідникових шарів. Крім того, відомі факти залежності темпу деградації від температури успішно пояснюються температурної залежністю коефіцієнта дифузії міді. Процеси утворення шунтуючих закороток розглянуті в ряді робіт. При цьому однозначного і повного пояснення суті цього деградаційної механізму досі немає. Так, наприклад, в роботі [23] показано, що можливе формування мережі шунтуючих дефектів у вигляді дендритів, а в роботі [24] акцент зроблений на прекурсорний механізм. Проте, в більшості подібних робіт автори відзначають, що вірогідність реалізації даного деградаційної механізму тим вище, чим тонше шари сонячної батареї. Крім процесів, пов'язаних з деградацією безпосередньо в робочих шару, існують також відмови, пов'язані з периферійними елементами сонячної батареї. Так, наприклад, в роботі [25] розглянуті питання відшаровування заднього металевого контакту. В якості причини даного явища, в статті вказана залежність адгезії між металом і

напівпровідникових шаром від електричної напруги. В результаті нерівномірного контакту, через деякі ділянки контакту протікає струм за величиною вище очікуваного, що призводить до електричних пробоїв або навіть до вигорання окремих ділянок контакту.

В роботі [26] наведені основні виміри поведінки сонячних батарей типу CdS - CdTe, алгоритм яких повторюється в більшості робіт, присвячених обговорюваній проблемі. Два зразки сонячних батарей витримувалися при температурах 60 і 120 ° С відповідно, при цьому проводився ряд вимірювань вольтамперних характеристик: відразу після виробництва до впливу температури, через 1 годину в гарячій камері і через 723 години в гарячій камері. Результати вимірювань показані на рисунку 2.1.

На підставі проведених вимірювань показується, що початкове перетин темновий і світловий характеристик, яке зникає після відпалу, імовірно є наслідком метастабільних дефектів, утворених міддю. Аналогічні вимірювання проводилися для більш широкого температурного діапазону. Далі наводяться результати обробки експериментальних даних, і розраховуються енергії активації деградаційної процесу (рисунк 2.2.)

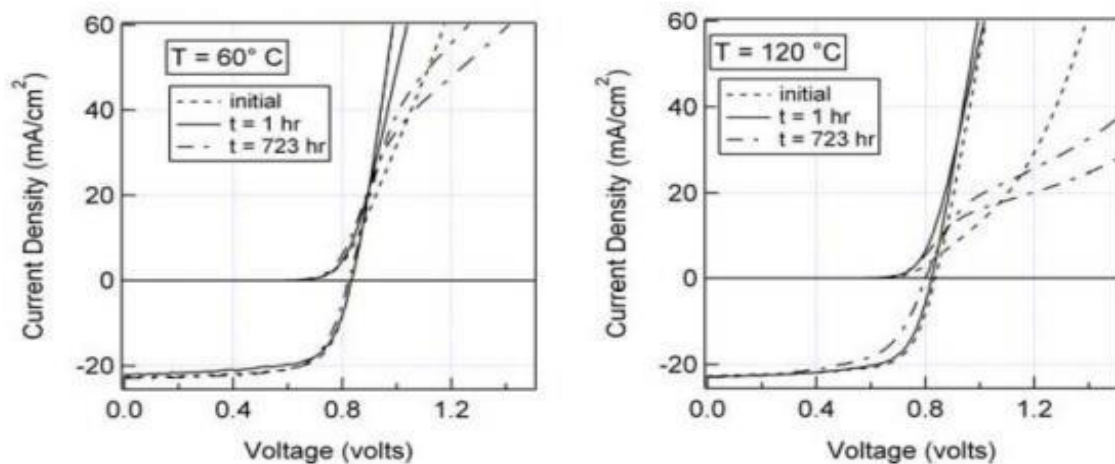


Рис 2.1. - Вольтамперні характеристики сонячних батарей на основі CdTe-CdS, витриманих при різних температурних режимах

За результатами вимірювань і розрахунків отримана енергія активації, що дорівнює 0.63 eV, порівнянна з енергією активації дифузії міді в CdTe (0.67 eV), на підставі чого робиться висновок про вирішальну роль дифузії міді в деградації сонячної батареї даного типу.

Граничний час життя сонячного елемента обумовлено деградацією основного бар'єру, проте існує ряд ефектів, які виводять з ладу батарею істотно раніше. Основним джерелом деградації сонячних батарей на основі a-Si: H вважається ефект Стеблера-Вронського, який в тому числі обмежує максимальний ККД батарей даного типу. Деградація сонячних батарей на основі CdTe - CdS обумовлюється дифузією міді з верхнього контакту до рn-переходу, шунтуючи при цьому прилад. Точні механізми цього явища поки не відомі, в тому числі не пояснено поки поведінка деяких зразків, які демонструють дуже високу стійкість до деградації.

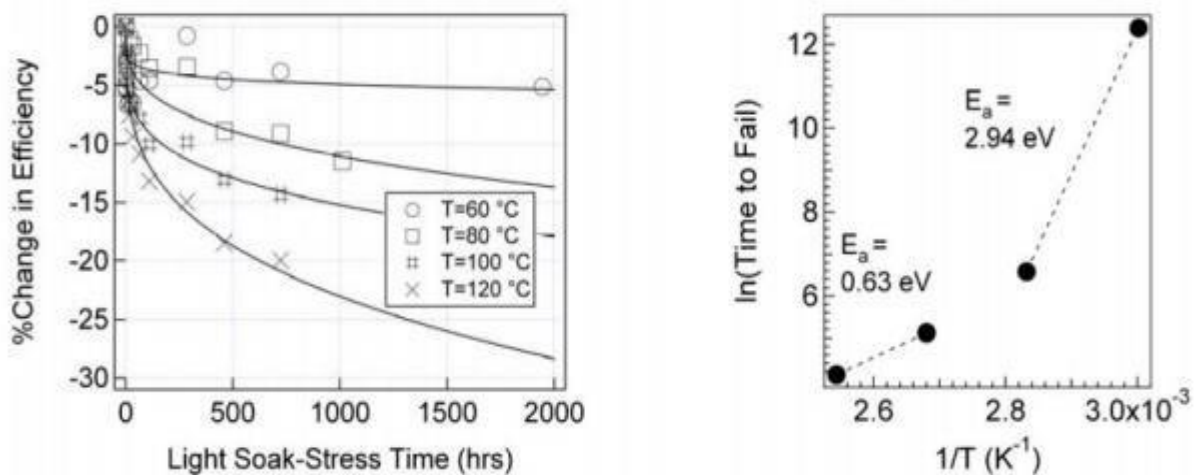


Рис 2.2. - Залежність процентної зміни ККД сонячної батареї як функція часу при різних температурах (лівий рисунок). Результати розрахунку енергії активації деградаційної процесу (правий рисунок).

2.4. Деградація полікристалічних сонячних елементів

У ряді робіт [27, 28] було показано, що електронний транспорт в полікристалічних плівках визначається в основному потенційними бар'єрами на міжкристалічних межах. В даному розділі, присвяченому, в основному, опису можливої деградації полікристалічних СЕ основна увага приділена побудові моделі, яка може надати допомогу розробникам при виборі оптимальної технології, а також при апріорній оцінці можливої надійності СЕ на стадії їх проектування. Слід зазначити, що на цей момент накопичено досить великий експериментальний матеріал. Однак існуючі моделі або описують досить

вузький фізичний феномен, або використовують велику кількість напівемпіричних параметрів і функцій, які не мають фізичного сенсу. Тому саме створення такої моделі і відповідним розрахунками присвячений даний розділ. Оскільки особливості електрофізичних властивостей плівок CdTe визначаються впливом кордонів розділу кристалітів, логічно припустити, що і особливості деградації сонячних батарей на основі цього матеріалу обумовлені подібними ефектами. Основними ефектами, пов'язаними з межами розділу, є: сегрегація домішок, захоплення і рекомбінація носіїв заряду, заряд кордону і пов'язана з зарядом варіація потенціалу. Саме зміною станів на цих кордонах і, як наслідок, зміною висоти бар'єрів буде в основному визначатися зміна параметрів сонячних елементів в процесі їх експлуатації. У всіх полікристалічних матеріалах існує ефект сегрегації домішок до кордону розділу кристалітів, де атоми захоплюються і стають електрично нейтральними. Це відбивається на залежності електропровідності плівок від ступеня легування. Велика частина домішки осідає на кордонах при цьому на легування кристалітів йде лише незначна частина введеної в плівку лігатури. Для опису подібної системи найбільшого поширення набули моделі, засновані на розгляді міжкристалічних бар'єрів. У цих моделях передбачалося, що на кордонах між кристалітами формуються потенційні бар'єри, висота яких залежить від різниці енергій рівня Фермі на кордоні і в обсязі кристала. При цьому допускалося, що рівень Фермі на кордоні лежить нижче, ніж в кристалі через наявність дефектних станів, які служать дифузійним стоком для домішок в процесі росту шарів. Відповідно ці дефектні стани служать пастками для основних носіїв заряду. На кордоні концентрація носіїв знижена і відповідно має місце потенційний бар'єр, висота якого дорівнює різниці рівнів Фермі на кордоні і в обсязі кристалітів. У роботі представлена модель, що припускає однорідність складу і структурних властивостей матеріалу, в якій, використовуючи типові усереднені параметри матеріалу (концентрації пасток і їх положення в забороненій зоні, об'ємні часи життя, коефіцієнти дифузії та ін.), А також з огляду на граничні умови, які визначаються виходячи з геометрії зразка, можна дати оцінку життєвого циклу роботи сонячної батареї. Найважливішим параметром для розрахунку впливу поверхні

кристалітів на фотоелектричні властивості напівпровідника є час життя. При розрахунку часу життя припустимо, що зразок має кінцеві розміри і має форму прямокутного паралелепіпеда. При побудові моделі також допускалося, що все кристалітів щільно прилягають один до одного і мають довільну форму. Однак для розрахункової моделі використовувалася деяка гіпотетична плівка з кристаллитами одного розміру еквівалентної сферичної форми. Використання гіпотетичної сфери дозволило виключити проблему нерівномірного розподілу поля в об'ємі плівки і заряду по його кордонів. Тому стало можливим вважати плівку гомогенної з параметрами, рівними деяким ефективним параметрам, що залежать від параметрів кристаллитів, наприклад, часу життя. У полікристалічних зразках навіть в межах одного кристалітів властивості матеріалу сильно змінюються і для всієї середовища можна користуватися тільки деякими усередненими властивостями. Тому для напівпровідникових плівок на неорієнтуючих підкладках можна говорити про деяке характеристичний розмірі. Для полікристалічних матеріалів таким розміром служить середній розмір кристалітів. В рамках даної моделі середній розмір кристалітів є діаметром модельного кристалітів сферичної форми.

Слід очікувати, що в міру зменшення розмірів окремих кристалітів на стан зразка все більший вплив буде надавати їх поверхню. При цьому нестабільність поверхні може призводити до нестабільності властивостей матеріалу. На рисунках 2.1 і 2.2 показані розраховані залежності ефективного часу життя і ефективної дифузійної довжини полікристалічної напівпровідникової плівки від середнього розміру кристалітів в ній.

Як видно з графіків, зменшення середнього розміру кристалітів призводить до зниження ефективного часу життя і, відповідно, ефективної дифузійної довжини. це результат зрозумілий, оскільки в цьому випадку визначальну роль на ефективне час життя надає поверхнева рекомбінація. Отримані результати добре узгоджуються з виконаними раніше на кафедрі напівпровідникової електроніки НДУ МЕІ експериментальними і теоретичними дослідженнями [27, 28, 16, 20], а також літературними даними [15]

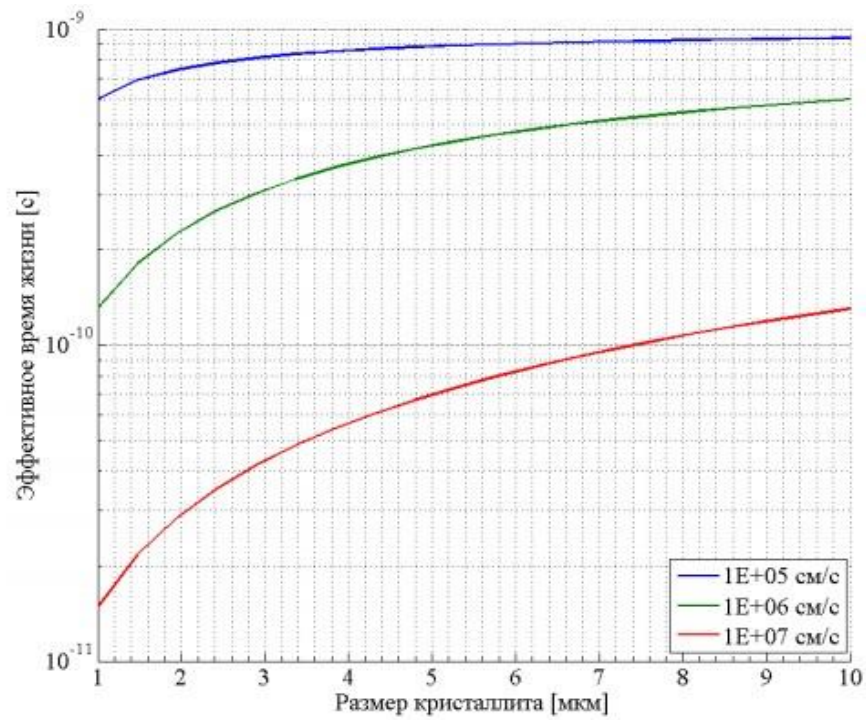


Рис 2.3. - Залежності ефективного часу життя від середнього розміру кристалітів при різних швидкостях поверхневої рекомбінації ($\tau_n = 10^{-9}$ с, $D_n = 12.5$ см² / с)

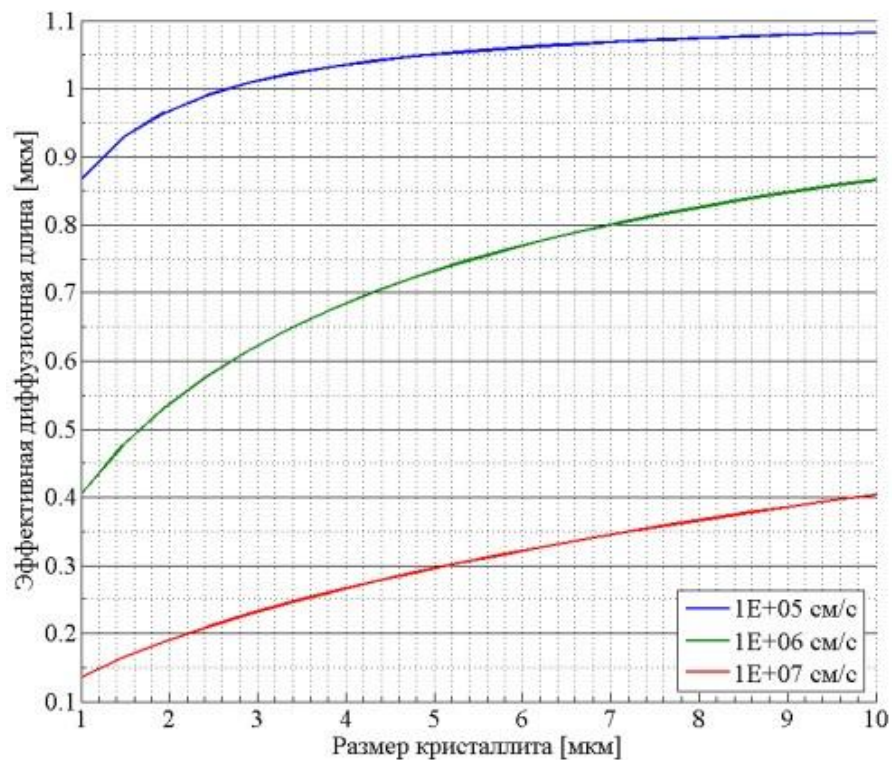


Рис 2.4. - Залежності ефективної дифузійної довжини від середнього розміру кристалітів при різних швидкостях поверхневої рекомбінації ($\tau_n = 10^{-9}$ с, $D_n = 12.5$ см² / с)

2.5. Дослідження процесів деградації в різних типах сонячних панелей

Таблиця 2.1 - Середньомісячна інсоляція на горизонтальній поверхні (кВт / м² / день)

Широта 48.3 Долгота 34.3	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сент	Окт	Ноя	Дек	Среднее годовое
Среднее за месяц	0,73	1,83	3,34	4,05	5,72	6,22	5,83	5,6	4,13	1,69	0,79	0,63	3,38

Дані взяті з сайту NASA

Середній виробіток 1 м² сонячної батареї за місяць.

$$P = E * \eta$$

де E - середньомісячне денний сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню; η -ККД сонячної панелі

Таблиця 2.2 - Середньодобова вироблення 1 м² сонячної батареї по місяцях, Вт * год / добу

	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	130,4420645	121,4612903	117,7806452
Февраль	325,7315714	303,3053571	294,1142857
Март	591,848	551,1	534,4
Апрель	718,3688	668,91	648,64
Май	1013,698323	943,9064516	915,3032258
Июнь	1102,302133	1026,41	995,3066667
Июль	1034,333548	963,1209677	933,9354839
Август	992,0985	923,79375	895,8
Сентябрь	732,1904	681,78	661,12
Октябрь	298,8963871	278,3177419	269,883871
Ноябрь	141,2284	131,505	127,52

Декабрь	113,1793548	105,3870968	102,1935484
---------	-------------	-------------	-------------

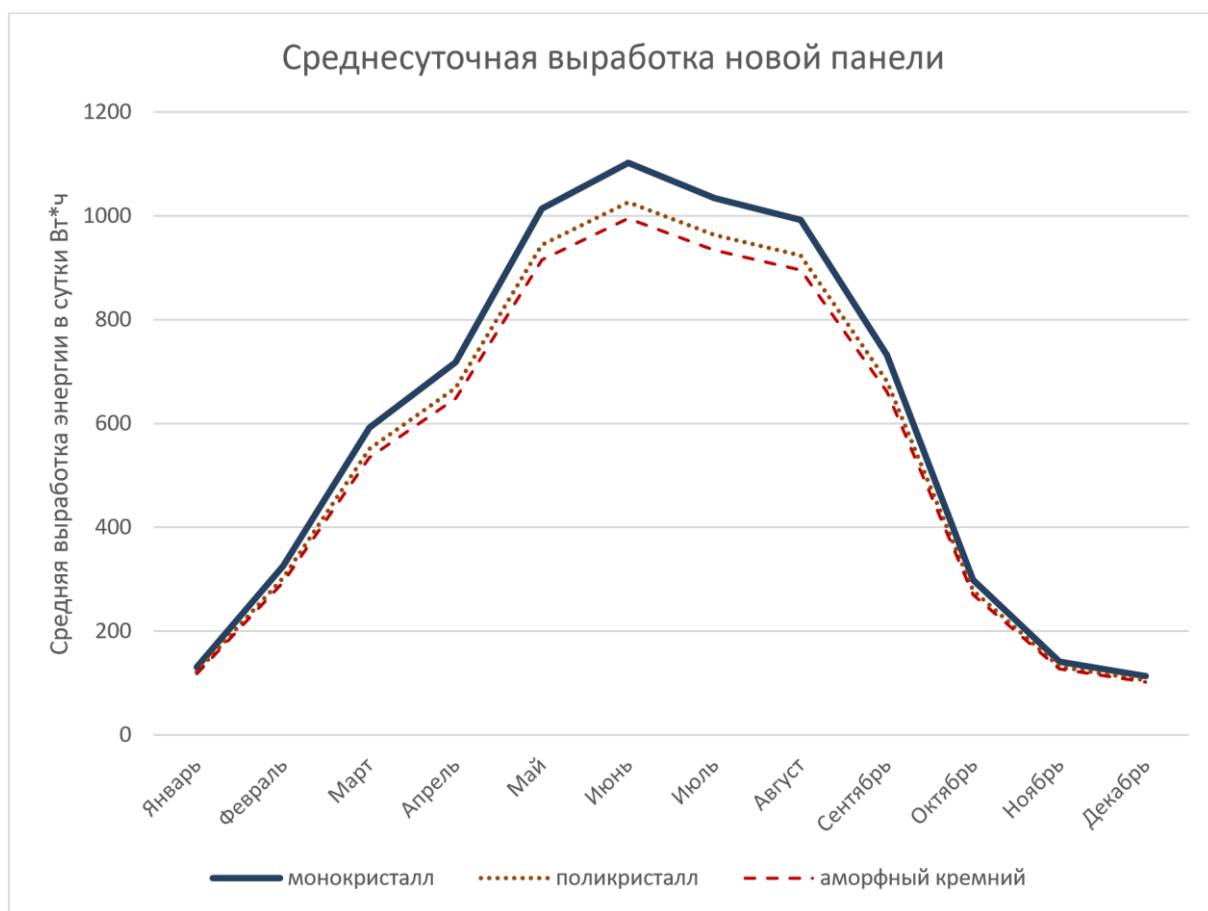


Рис 2.5. - Середньодобова виробництва нової панелі

Монокристалічні панелі мають найбільший ККД, тому їх вироблення електроенергії більше, ніж у інших видів панелей.

Дані про деградацію сонячних батарей були взяті у виробників сонячних батарей

Таблица 2.3 - Зміна ККД в слідстві експлуатації сонячних батарей

Года эксплуатации	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
0	97,5044	98,13375	98,53508
1	97	97,5	98
2	96,49820931	96,87034277	97,46782567
3	95,99901444	96,24475188	96,93854124
4	95,50240195	95,62320108	96,412131
5	95,00835848	95,00566426	95,88857936
6	94,27770626	94,27503276	95,36787078

7	93,55267304	93,5500201	94,84998984
8	92,83321562	92,83058308	94,33492117
9	92,11929112	92,11667882	93,8226495
10	91,41085697	91,40826477	93,31315965
11	90,70787097	90,7052987	92,80643651
12	90,01029122	90,00773873	92,30246505
13	89,21626645	89,20489468	91,80123033
14	88,42924615	88,40921177	91,30271749
15	87,64916855	87,62062614	90,80691176
16	86,8759724	86,83907447	90,31379842
17	86,10959699	86,06449402	89,82336286
18	85,34998215	85,29682262	89,33559053
19	84,59706824	84,53599863	88,85046698
20	83,85079615	83,78196098	88,36797782
21	83,1111073	83,03464914	87,88810875
22	82,3779436	82,29400311	87,41084553
23	81,6512475	81,55996344	86,93617402
24	80,93096194	80,8324712	86,46408014
25	80,21703037	80,11146799	85,9945499

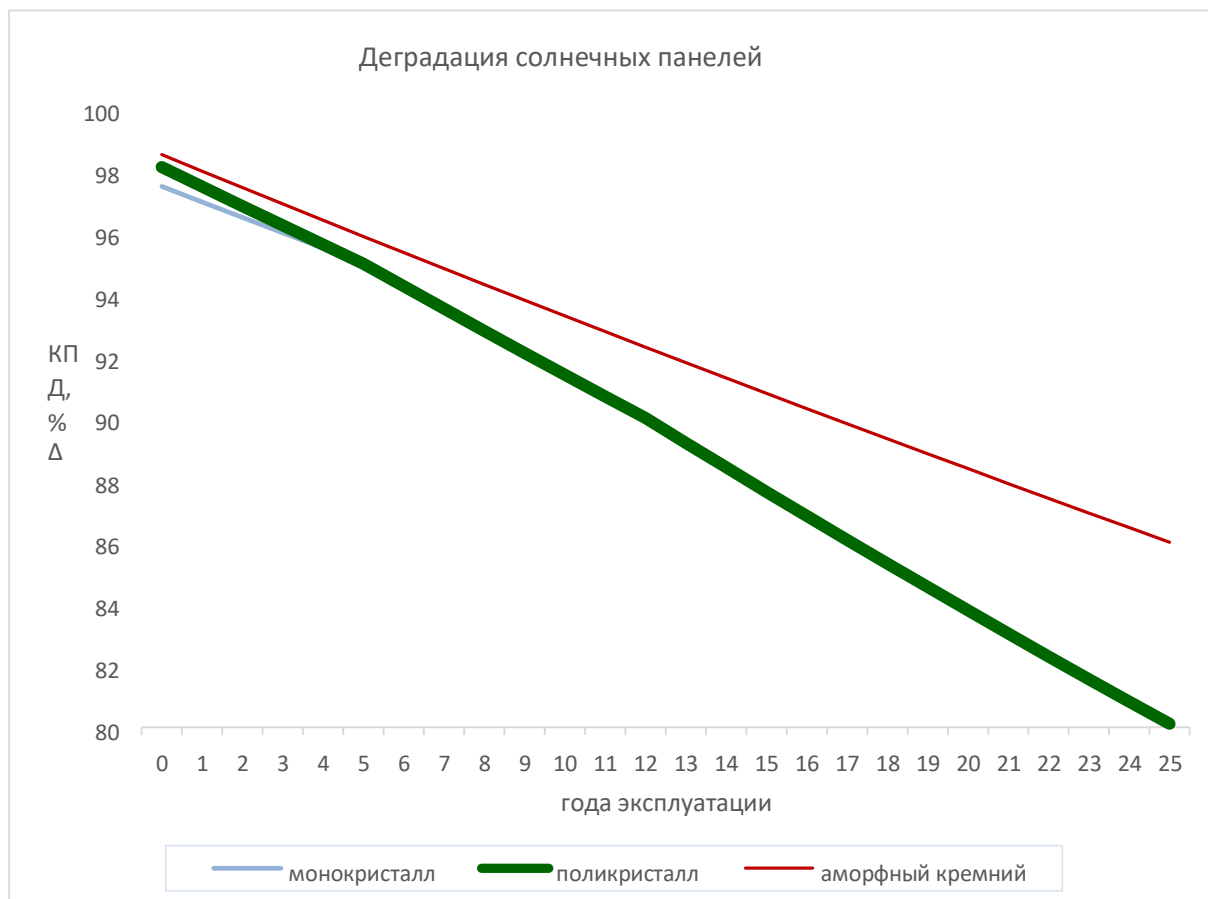


Рис 2.6. - Деградація сонячних панелей

У панелей з аморфного кремнію деградація відбувається повільніше, ніж у інших видів панелей.

Таблиця 2.4 - Зміна виработки 1 м2 сонячної батареї з урахуванням їх деградації,

Вт * ч / день

Года эксплуатации	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
0	1074,793081	1007,254623	980,7262202
1	1069,233069	1000,74975	975,4005333
2	1063,70182	994,2868852	970,1037668
3	1058,199184	987,8657578	964,8357635
4	1052,725014	981,4860982	959,5963673
5	1047,279162	975,1476385	954,3854229
6	1039,225167	967,6483637	949,2027758
7	1031,233111	960,2067613	944,0482722
8	1023,302516	952,8223878	938,9217594

9	1015,432911	945,4948031	933,8230853
10	1007,623827	938,2235704	928,7520989
11	999,8747968	931,0082564	923,7086497
12	992,1853603	923,8484311	918,6925881
13	983,4328083	915,6079594	913,7037656
14	974,7574669	907,4409905	908,7420341
15	966,1586548	899,3468687	903,8072465
16	957,6356971	891,3249442	898,8992566
17	949,1879246	883,3745731	894,0179187
18	940,814674	875,495117	889,1630883
19	932,5152879	867,6859435	884,3346212
20	924,2891148	859,9464257	879,5323745
21	916,1355088	852,2759422	874,7562056
22	908,0538297	844,6738773	870,005973
23	900,0434431	837,1396207	865,2815358
24	892,1037199	829,6725676	860,5827539
25	884,234037	822,2721185	855,9094881



Рис 2.7. - Деградація сонячних панелей

Як видно з графіка, то навіть з урахуванням деградації сонячні батареї монокристалічні будуть виробляти більше енергії. Але оскільки батареї з аморфного кремнію деградують повільніше, то у них буде менш значна щорічна втрата вироблення.

Таблиця 2.5 - Середньодобова вироблення 1 м2 сонячної батареї з урахуванням деградації при експлуатації 5 років, Вт * год / добу.

Місяць	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	123,9308643	115,3951057	112,9381874
Февраль	309,4722191	288,1572693	282,0220103
Март	562,3050695	523,5762157	512,4285681
Апрель	682,5104047	635,5023888	621,9716811
Май	963,0981362	896,7645943	877,67126
Июнь	1047,279162	975,1476385	954,3854229

Июль	982,7033256	915,019473	895,5374676
Август	942,5764994	877,6563886	858,9698939
Сентябрь	695,64208	647,7296178	633,9385759
Октябрь	283,9765509	264,4176195	258,7878098
Ноябрь	134,1787846	124,9371988	122,2771164
Декабрь	107,5298472	100,1237113	97,99194174

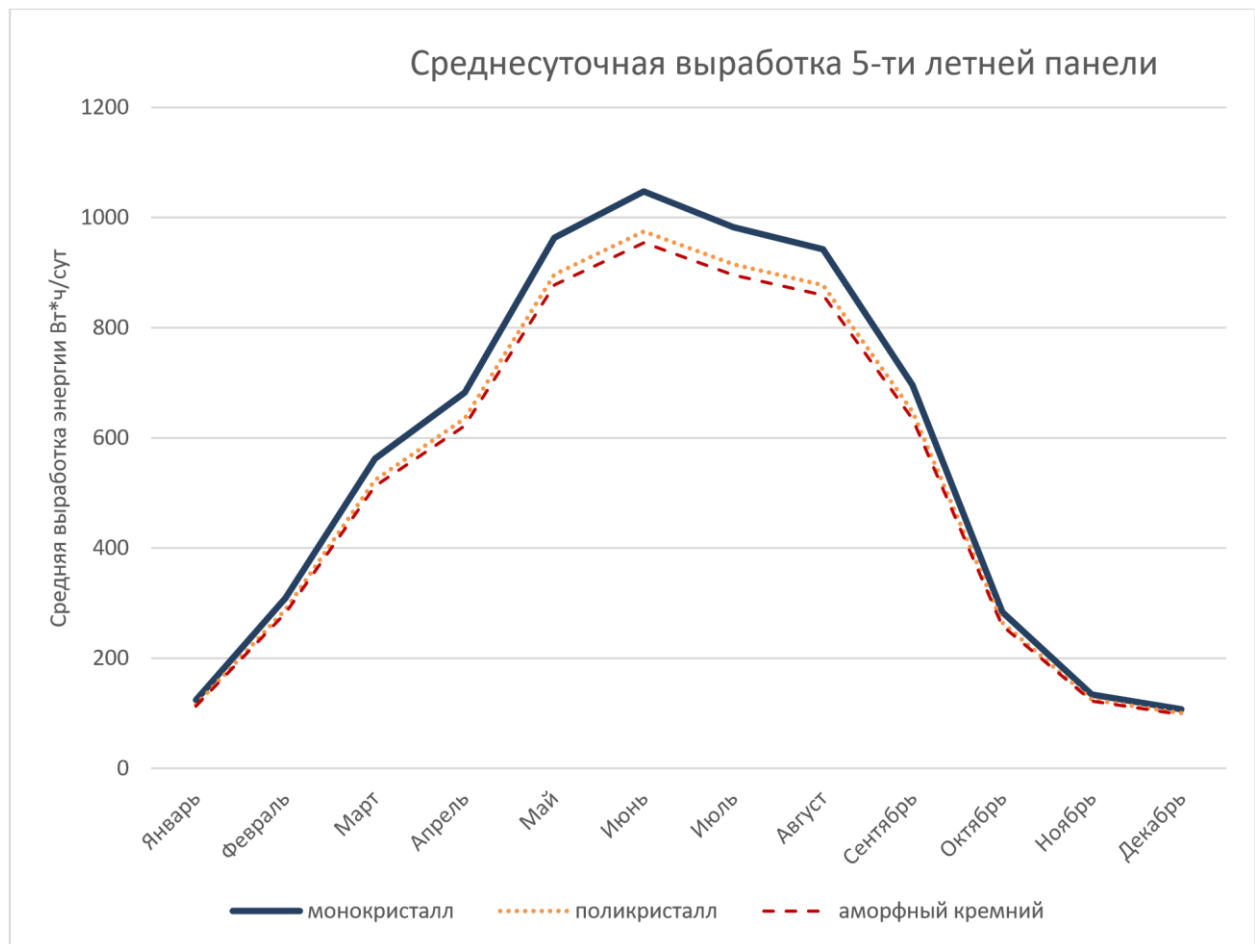


Рис 2.8. - Середньодобова вироблення 5-ти річної панелі

Таблица 2.6 - Середньодобова вироблення 1 м2 сонячної батареї з урахуванням деградації при експлуатації 12 років, Вт * год / добу.

Месяц	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	117,4112821	109,3245608	108,7144388
Февраль	293,191936	272,9982934	271,4747358
Март	532,7241084	496,0326481	493,2643732

Апрель	646,6058489	602,0707651	598,7107093
Май	912,4328122	849,5888528	844,8474401
Июнь	992,1853603	923,8484311	918,6925881
Июль	931,0066391	866,8834043	862,0454736
Август	892,990749	831,4858649	826,8454819
Сентябрь	659,0467113	613,6547611	610,2300569
Октябрь	269,0375085	250,507506	249,1094657
Ноябрь	127,1200941	118,3646768	117,7041034
Декабрь	101,8730669	94,85654272	94,32716428

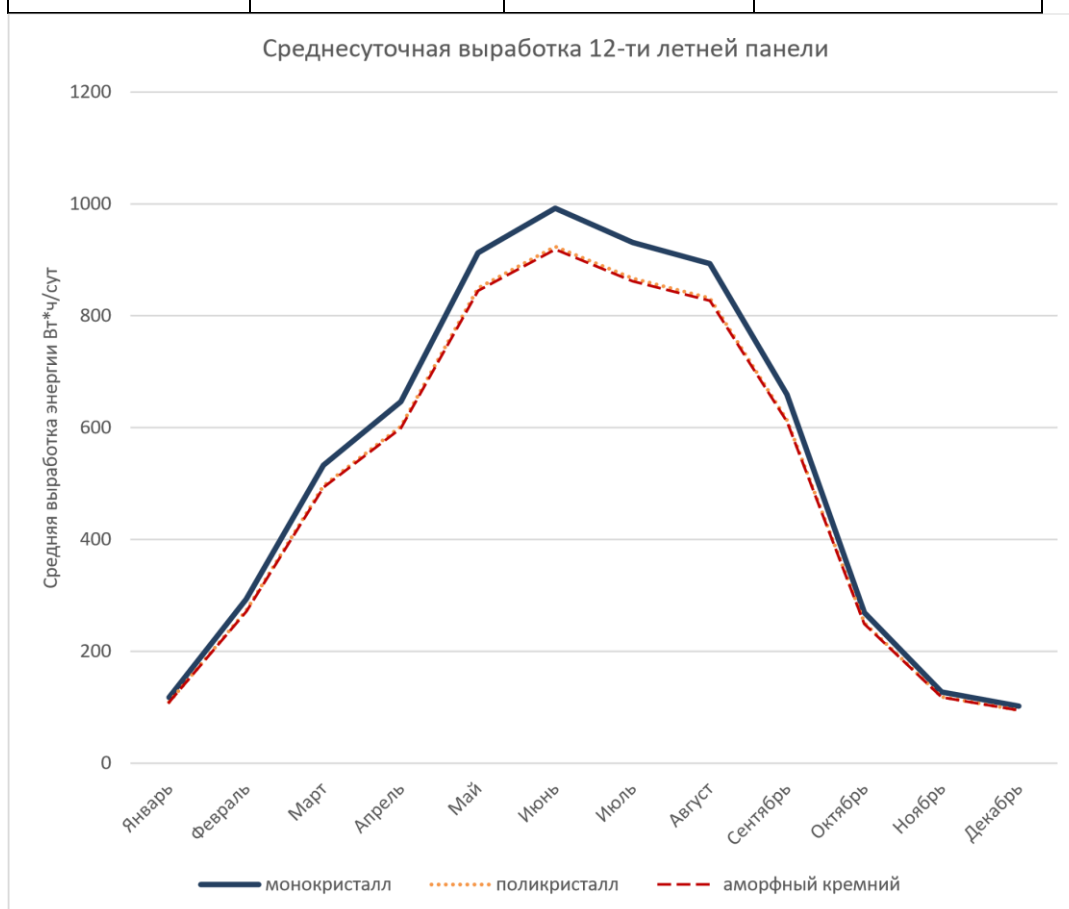


Рис 2.9. - Середньодобова вироблення 12-ти річної панелі

Таблица 2.7 - Середньодобова вироблення 1 м2 сонячної батареї з урахуванням деградації при експлуатації 25 років, Вт * год / добу.

Месяц	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	104,6367505	97,30442271	101,2849357

Февраль	261,2921936	242,9823741	252,9222562
Март	474,7628899	441,4943001	459,5548747
Апрель	576,2541184	535,8736205	557,7950485
Май	813,1586912	756,1773148	787,1108893
Июнь	884,234037	822,2721185	855,9094881
Июль	829,7116566	771,5703457	803,1336157
Август	795,831955	740,0647343	770,339178
Сентябрь	587,3413955	546,1839664	568,5271683
Октябрь	239,7658056	222,9644287	232,0854201
Ноябрь	113,2892285	105,350586	109,66025
Декабрь	90,78911744	84,42715029	87,88088196

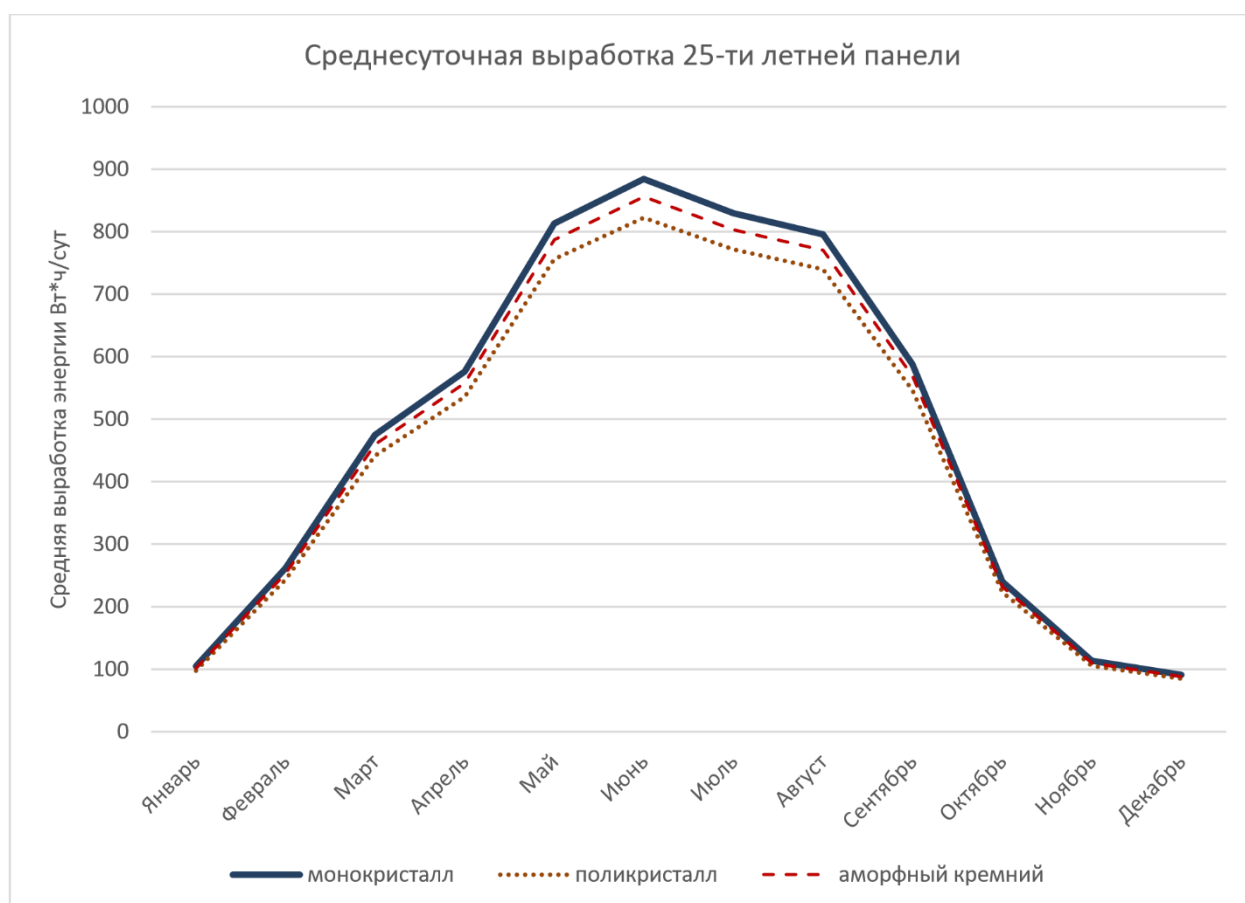


Рис 2.10. - Середньодобова вироблення 25-ти річної панелі

Якщо використовувати сонячні батареї досить довгий час, то з урахуванням деградації найбільш стійкими панелі вийдуть з аморфного кремнію,

і через 12 років експлуатації їх вироблення буде на рівні монокристалічних панелей, а через 25 років майже зрівняється з монокристалічними.

Таблиця 2.8 - Потужність сонячних батарей на протязі доби

Время	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
5:30	2,248893485	2,094059961	12,40593596
6:30	22,36671238	20,826792	49,35404959
7:30	50,45343645	46,97977999	78,85860163
8:30	99,92909312	93,04909912	89,57894847
9:30	146,300299	136,227705	107,6080098
10:30	181,5981489	169,0953418	112,8319876
11:30	204,4904179	190,4115065	113,9458249
12:30	227,2115755	211,5683406	113,9458249
13:30	238,9449328	222,4938708	114,9409967
14:30	211,3226541	196,7733517	112,0916768
15:30	187,3670496	174,4670609	110,2510135
16:30	148,524748	138,2990035	99,49021253
17:30	86,53351018	80,57578544	83,53779705
18:30	61,60012589	57,3590337	65,1311638
19:30	42,04453037	39,14981666	53,34552464
20:30	0,955796458	1,456737364	9,924748769
Всего	1807,291471	1682,861697	1198,840879

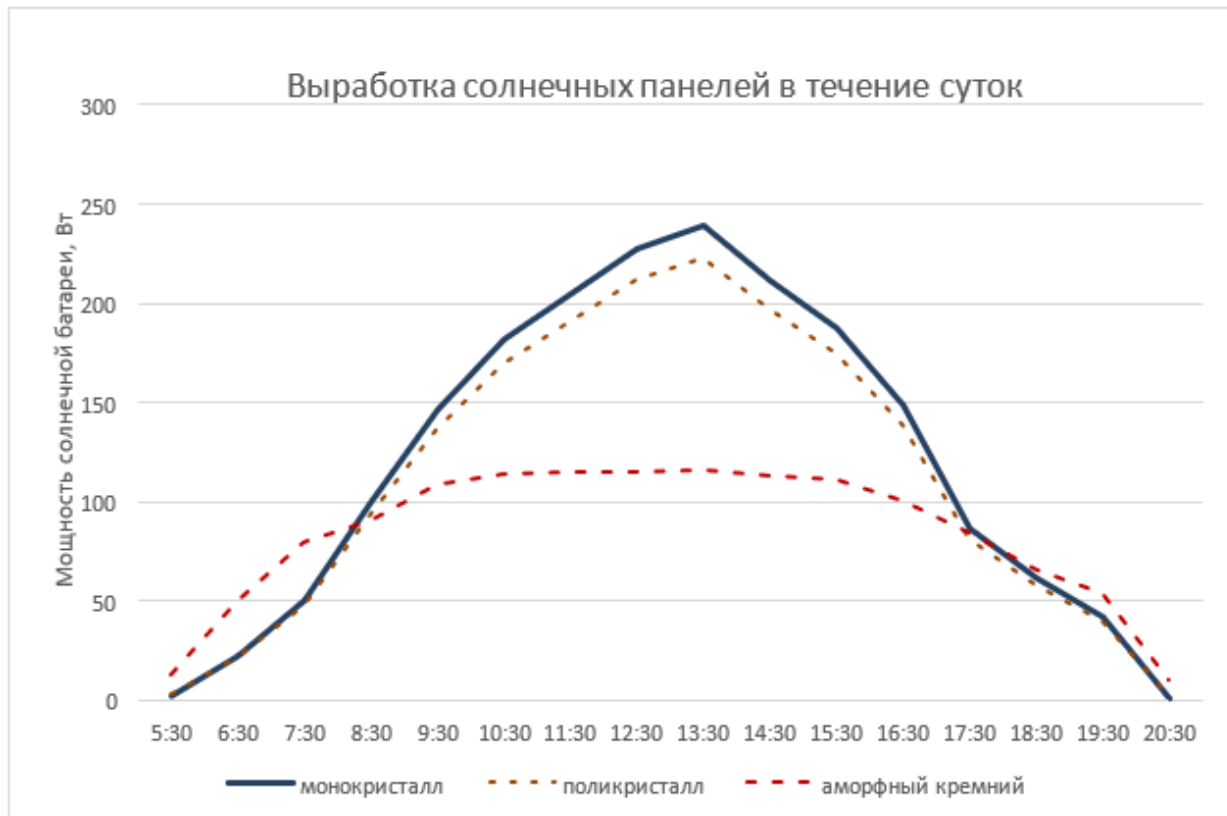


Рис 2.11. - Вироблення сонячних панелей протягом доби

Вироблення монокристалічних і полікристалічних сонячних батарей сильно залежить від освітлення, тому у них вранці і ввечері низька вироблення в порівнянні з панелями на аморфному кремнії.

Висновки.

Процесу деградації піддаються всі модулі без винятку: моно- і полікристалічні; тонкоплівкові. У кожному конкретному випадку вона, проте протікає особливим чином і з різним ступенем інтенсивності.

Було проаналізовано деградація сонячних модулів, по якій видно, що панелі з аморфного кремнію погіршують свої властивості повільніше інших.

Так само було проаналізовано добовий графік сонячних панелей, за яким видно, що модулі з аморфного кремнію мають набагато вище ККД при невеликій освітленості. Однак при максимальній освітленості монокристалічні панелі виробляють більше всіх електроенергії.

РОЗДІЛ 3.

РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Ознайомлення з мікроконтролером Atmega 8

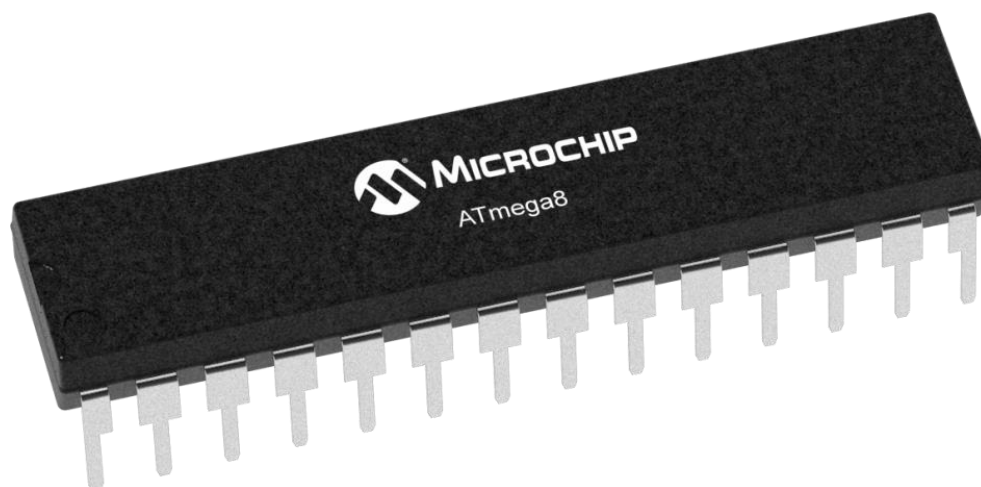


Рис. 3.1 Фото мікропроцесора

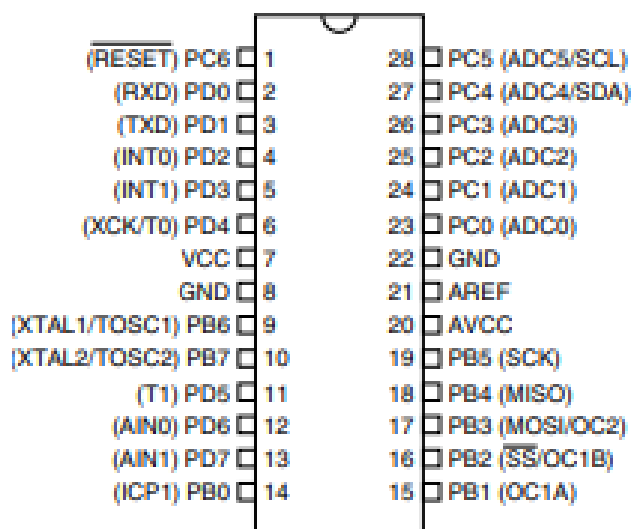


Рис.3.2 Конфігурація PIN

Atmel®AVR® ATmega8 - це 8-розрядний мікроконтролер CMOS із низькою потужністю, заснований на AVR RISC архітектура. Виконуючи потужні інструкції за один тактовий цикл, ATmega8 досягає пропускну здатність наближається до 1MIPS на МГц, що дозволяє розробнику системи оптимізувати споживання енергії порівняно зі швидкістю обробки.

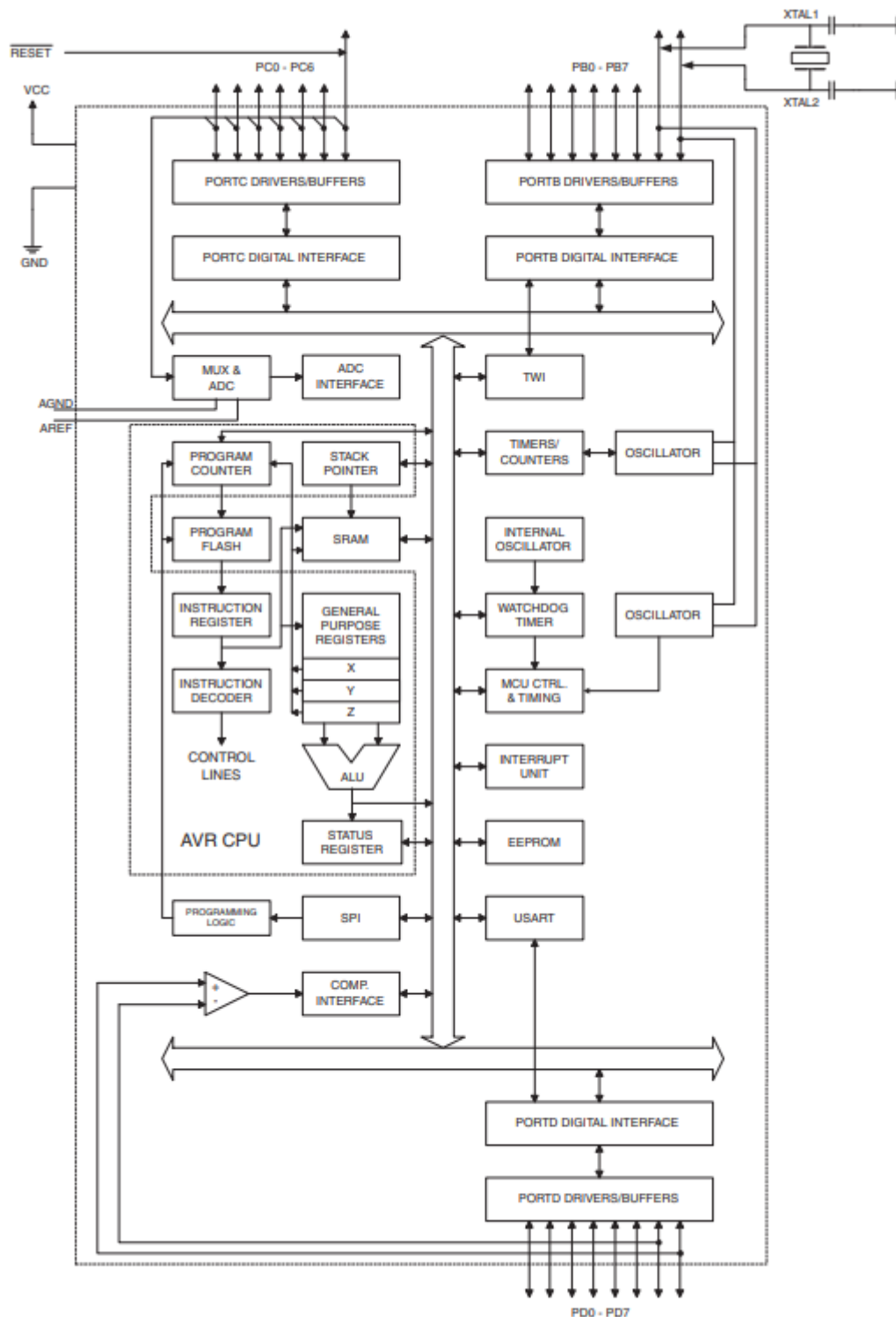


Рис. 3.3 Блок діаграма блоків роботи мікроконтролера

Ядро Atmel®AVR® поєднує в собі багатий набір інструкцій з 32 робочими регістрами загального призначення. Всі 32 регістри безпосередньо підключені до блоку арифметичної логіки (ALU), що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів в одній команді, що виконується за один тактовий цикл.

отримана архітектура є більш ефективною за допомогою коду, одночасно досягаючи пропускну здатності в десять разів швидше ніж звичайні мікроконтролери CISC.

АТmega8 забезпечує такі функції: 512 байт EEPROM, 1 Кбайт SRAM, 23 загального призначення лінії вводу-виводу, 32 робочих регістри загального призначення, три гнучкі таймера або лічильника з порівнянням режимів, внутрішні та зовнішні переривання, послідовно програмований USART, 6-канальний АЦП (вісім каналів у пакетах TQFP та QFN / MLF) з 10-бітною точністю, програмований сторожовий таймер із внутрішнім генератором, послідовний порт SPI, та п'ять режимів енергозбереження, що обираються програмним забезпеченням. Режим очікування зупиняє центральний процесор, дозволяючи SRAM, таймер / лічильники, порт SPI та система переривань для подальшого функціонування. Режим вимкнення зберігає вміст реєстру, але заморожує осцилятор, відключаючи всі інші функції мікросхеми до наступного переривання або скидання обладнання. В режимі енергозбереження асинхронний таймер продовжує працювати, дозволяючи користувачеві підтримувати роботу здібність таймера, поки решта пристрою спить. Режим зменшення шуму АЦП зупиняє центральний процесор та всі модулі вводу-виводу, крім асинхронного таймера і АЦП, щоб мінімізувати шум перемикання під час перетворення АЦП. У режимі очікування, кристал або резонатор працює, коли решта пристрою спить це дозволяє дуже швидкий пуск у поєднанні з низьким енергоспоживанням.

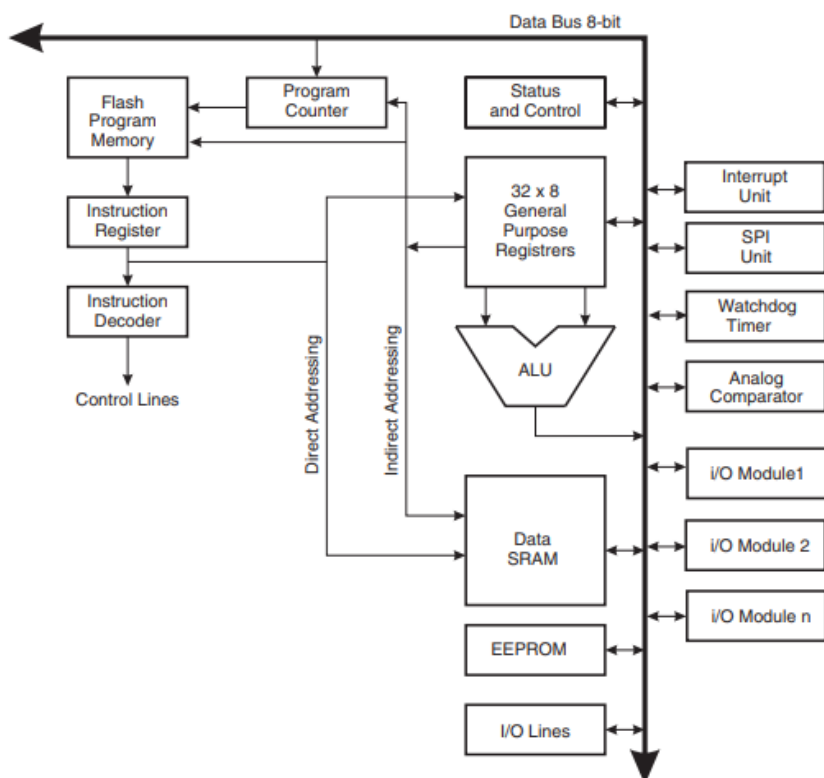


Рис. 3.4 Функціональна схема архітектури ядра мікроконтролера

Системний годинник

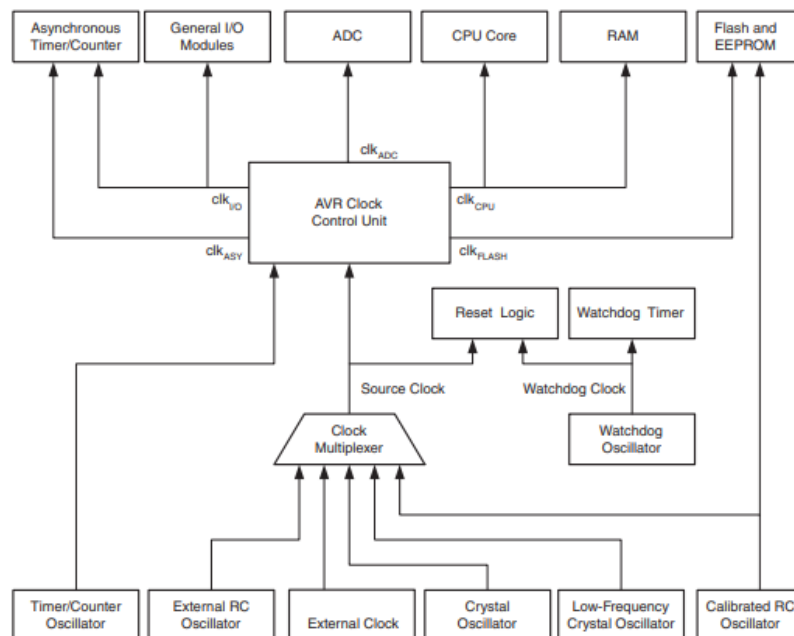
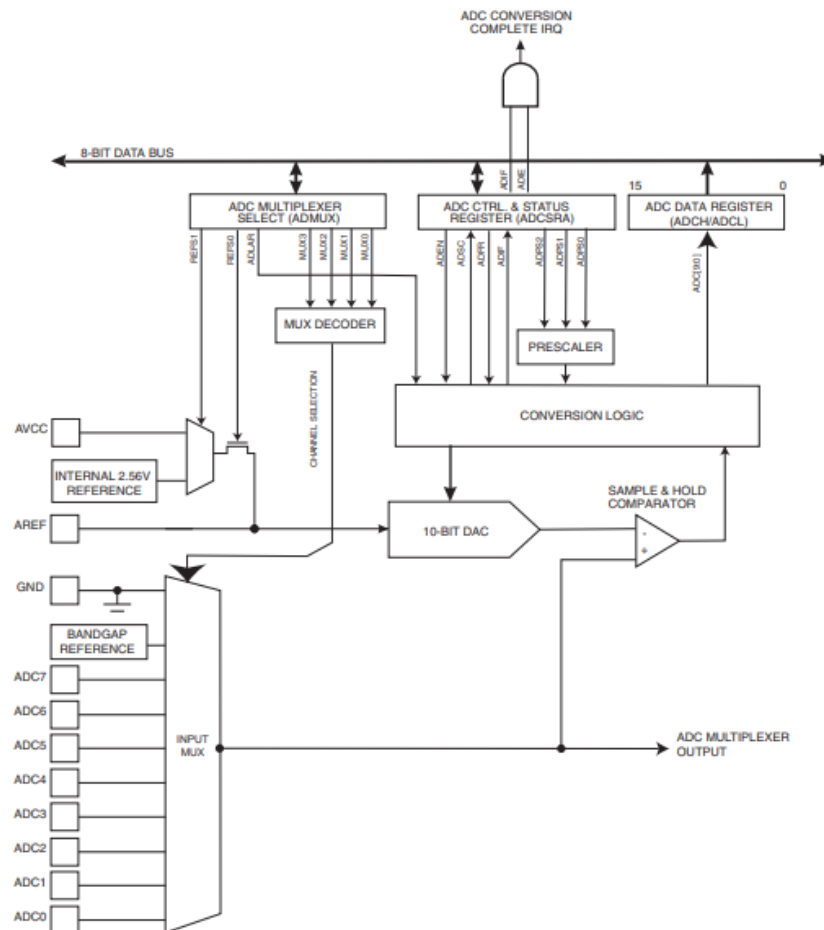


Рис. 3.5 Функціональна схема системних годинників

На рисунку 3.5 представляє основні годинникові системи в Atmel®AVR® та їх розподіл. Всі годинники не повинні бути активними в певний час. Для зменшення енергоспоживання годинники до модулів, які не використовуються,

Завдяки тому що в проєкті буде використовуватися ЦАП для перекодування вхідних даних для обробки та їх подальшої передачі на смартфон користувача. АЦП містить схему вибірки та утримання, яка забезпечує постійну вхідну напругу в АЦП під час перетворення. Структурна схема АЦП наведена на рисунку 3.6.



Канал аналогового входу вибирається шляхом запису в біти MUX в ADMUX. Будь-який вхід АЦП висновки, а також GND і фіксовану опорну напругу в зазорі, можна вибрати як одно закінчені входи в АЦП. АЦП увімкнений, встановивши біт увімкнення АЦП, ADEN в ADCSRA. Вибір

опорного значення напруги та вхідного каналу не вступатиме в силу, поки не буде встановлено ADEN. АЦП не споживає електроенергію, коли ADEN очищений, тому рекомендується вимкнути АЦП перед переходом до енергозберігаючих режимів сну. ADC генерує 10-розрядний результат, який представлений в реєстрах даних ADC, ADCH і ADCL.

За замовчуванням результат подається з коригуванням праворуч, але за бажанням може бути представлений ліворуч відрегульовано шляхом встановлення біта ADLAR в ADMUX. Якщо результат залишено відрегульованим і потрібна не більше 8-бітової точності, ADCH. В іншому випадку спочатку потрібно прочитати ADCL, а потім ADCH, щоб переконатися, що вміст даних регістра належать до одного перетворення.

Модуль GSM M66

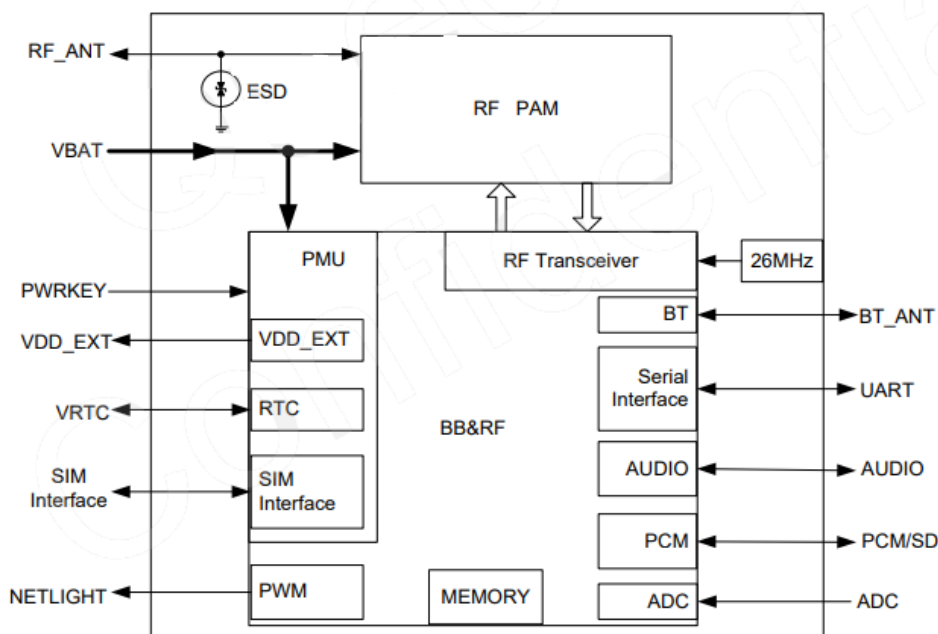


Рис 3.7 Блок схема

- 1) У діапазоні робочих температур модуль відповідає стандарту 3GPP.
- 2) У межах розширеного температурного діапазону модуль залишається здатним встановлювати і підтримувати а голос, SMS, передача даних, екстрений дзвінок тощо. там є також ніякого впливу на радіоспектр і ніякої шкоди радіомережі. Тільки один або кілька параметрів Rout може зменшити їх вартість і перевищити задані допуски. Коли температура повертається до нормальних робочих температурних рівнів, модуль знову відповідає сумісності з 3GPP.

Блок-схема M66 і ілюструє основні функціональні частини.

- . Радіочастотна частина
- . Керування живленням
- . Периферійний інтерфейс
 - Електроживлення
 - Інтерфейс увімкнення / вимкнення
 - інтерфейс UART
 - Інтерфейс аудіо
 - Інтерфейс PCM
- SIM-інтерфейс
- інтерфейс SD
- інтерфейс ADC
- FF інтерфейс
- BT інтерфейс

Режими роботи

GSM/GPRS Sleep

Після ввімкнення сплячого режиму AT + QSCLK = 1 модуль буде автоматично входить у сплячий режим, якщо DTR встановлено на високий рівень і не існує переривання (наприклад, переривання GPIO або дані про Порт UART). У цьому випадку споживання струму модуля знизиться до мінімального рівня. Під час режиму сну модуль може отримувати пейджинг повідомлення та SMS з системи нормально.

GSM TALK

З'єднання GSM триває. У цьому режимі живлення споживання визначається конфігурацією Power Control Рівень (PCL), динамічний контроль DTX і робочий радіочастотний діапазон.

Minimum Functionality Mode (without removing power supply) Команда AT + CFUN може встановити модуль в режим мінімальної функціональності без видалення джерела живлення. У цьому випадку РФ частина модуля не буде робота або SIM-картка не буде доступною, або будуть перебувати як частина RF, так і SIM-картка вимкнено, але порт UART все ще доступний. Споживана потужність при цьому дуже низька.

3.2 Віртуальна модель та її тестування

Пристрій призначений для проведення діагностики та контролю деградації сонячних панелей.

Межі вимірювання даної моделі

Вхідна напруга не більше 20 В.

Максимальний струм не більше 500 мА.

Робота пристрою полягає в тому що потрібно підключити дану систему до побудованої матриці фотоелементів і знімання показників даної матриці. На одній сонячній панелі може одночасно перебувати десятки таких матриць, але завдяки 2 каналній системі ми можемо одночасно підключатися до двох матриць і отримувати одночасно результати з двох систем.

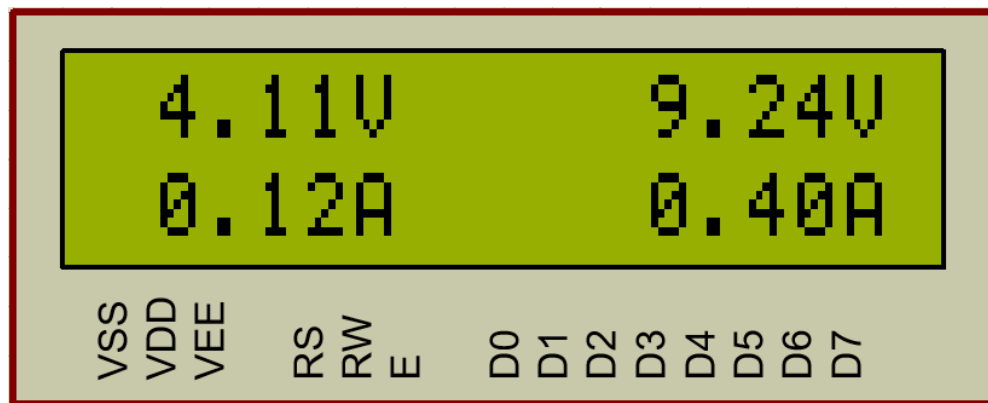


Рис. 3.8 Показники дисплею двох систем

На даному дисплеєві ми можемо бачити виконання програми і роботу двох каналів не залежних систем і їх показники які можуть передаватися незалежно одне від одного. Для правильної роботи системи діагностики потрібно буде вручну відрегулювати підстроювальний резистор для отримання точних даних це відбувається один раз і більше повторна процедура не буде потрібна.

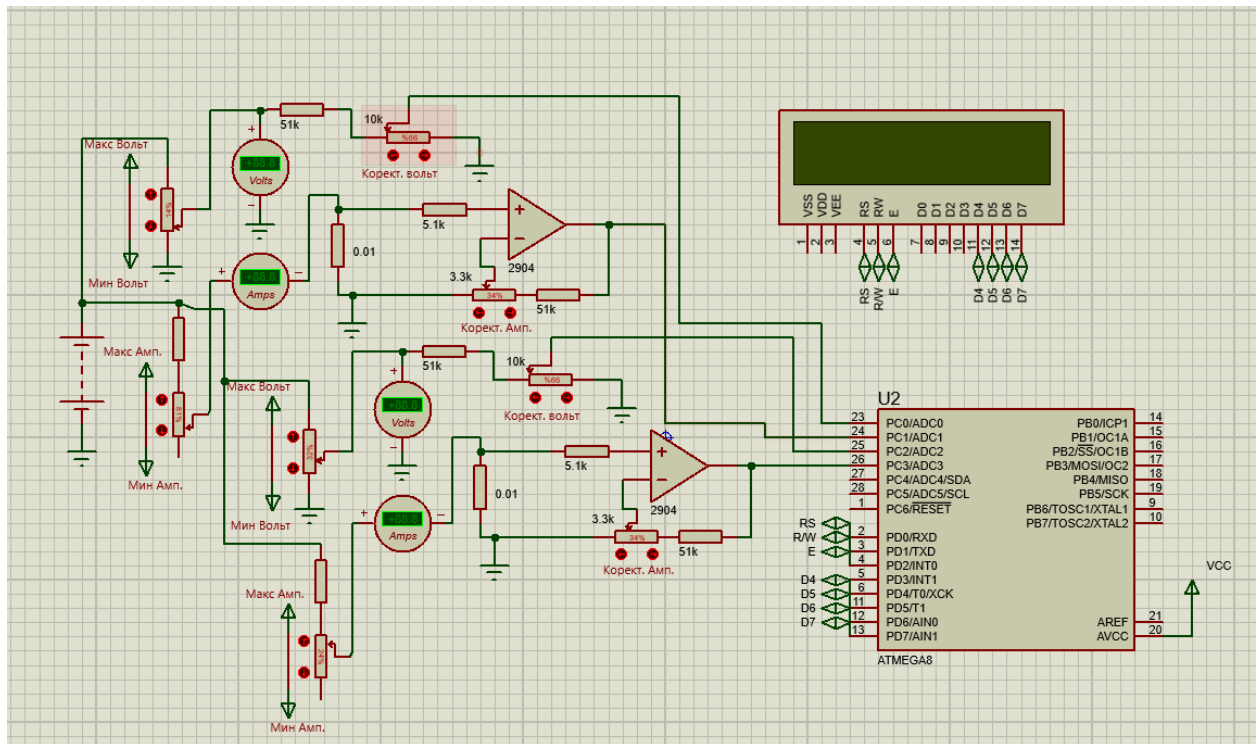


Рис. 3.9 Побудована схема в Proteus

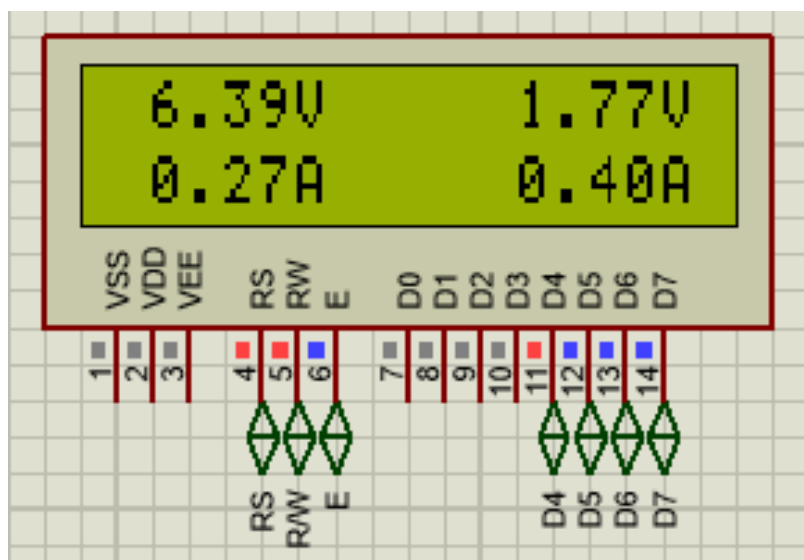


Рис. 3.10 Інформація на РК - дисплей

В даній ідеї реалізовано двох каналний принцип. В одному каналі в нас знаходяться цифровий вольтметр і амперметр

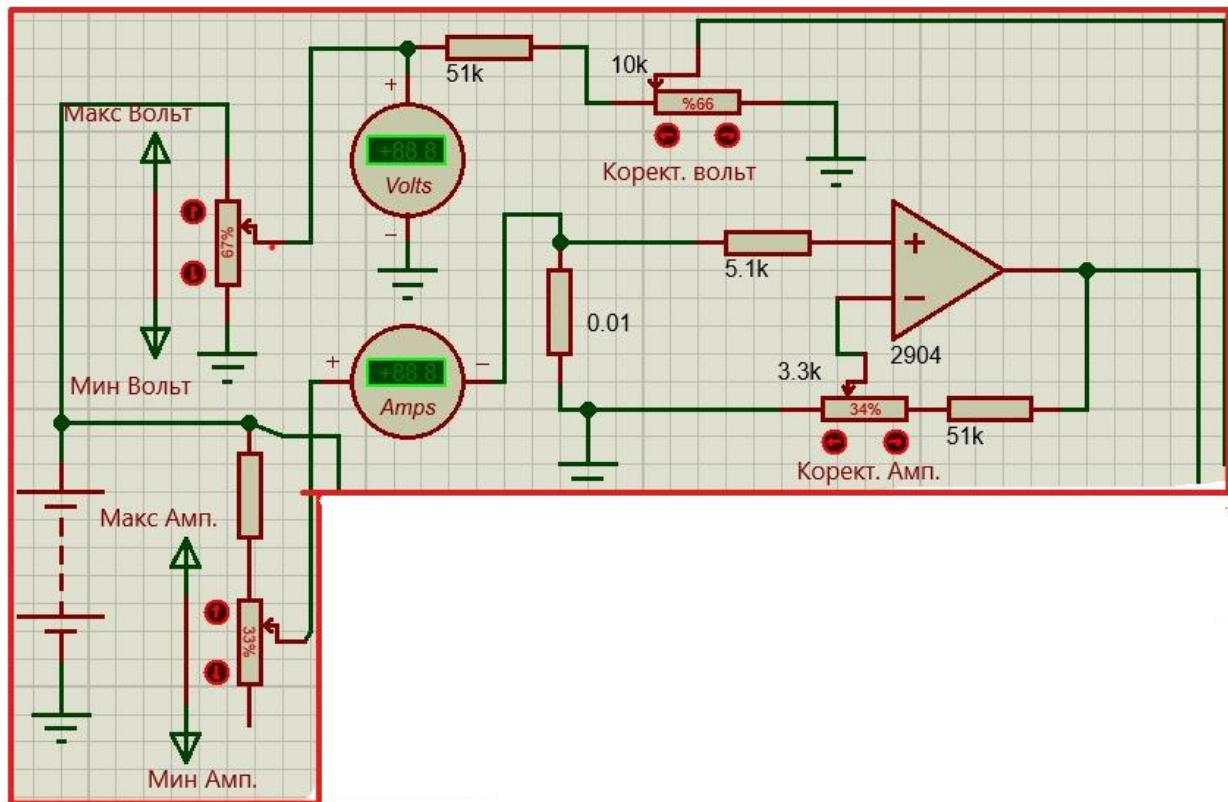


Рис. 3.11 Канал збору та обробки даних

Зручність розбивання системи на двох каналну полягає в тому що нам потрібно менше пристроїв для того щоб вбудовувати їх в конструкцію сонячної панелі і тим самим можна буде контролювати кожен блок фотоелементів і отримувати від них дані. Завдяки тому що в даній системі є коригуючі конденсатори для встановлення меж отримуваних даних і це дає можливість підлаштовуватися під кожного виробника з їх вихідною потужністю.

В проекті використовується двох процесорна реалізація: Atmega8 відповідає за збір та обробку інформації, а CC1110 за отримання результатів та їх відправку кінцевому користувачу. Передача даних між мікроконтролерами здійснюється через SPI.

Структурна схема передачі даних буде виглядати так.

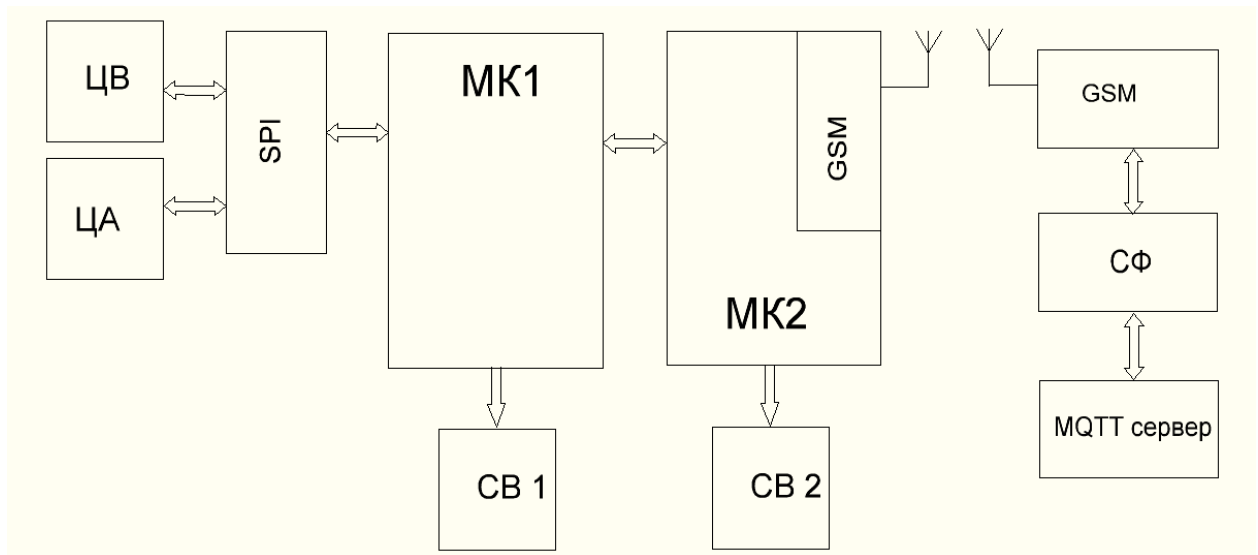


Рис. 3.12 Структурна схема передачі даних

Завдяки тому що в даній системі використовуються протоколи передачі даних через SPI та TCP/IP ми можемо не переживати що частина даних буде втрачена бо дані протоколи вони мало ресурсно затратні і після виконання роботи в них відбувається підсумовування відправних і отриманих даних і завдяки цьому ми може спостерігати передачу даних на кожному етапі.

На відміну від стандартного послідовного порту, SPI є синхронним інтерфейсом, в якому кожна передача синхронізована з тактовим сигналом, що генерується ведучим пристроєм (мікроконтролером). Периферійний пристрій синхронізує отримання бітової послідовності з тактовим сигналом. До одного послідовного периферійного інтерфейсу ведучого мікроконтролера можна під'єднати декілька мікросхем.

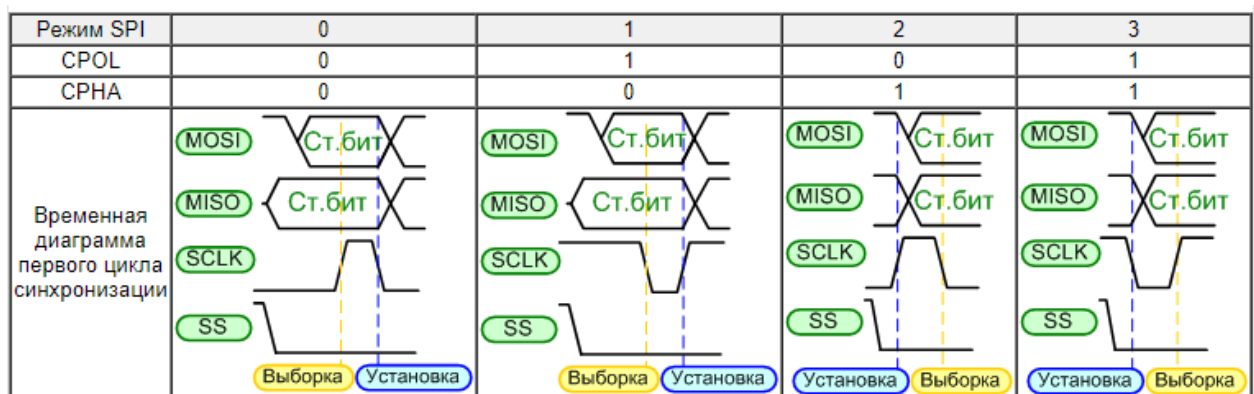


Рис 3.13 Режимы работы SPI

3.3 Графіки роботи даної системи під час використання її в різних температурних умовах.

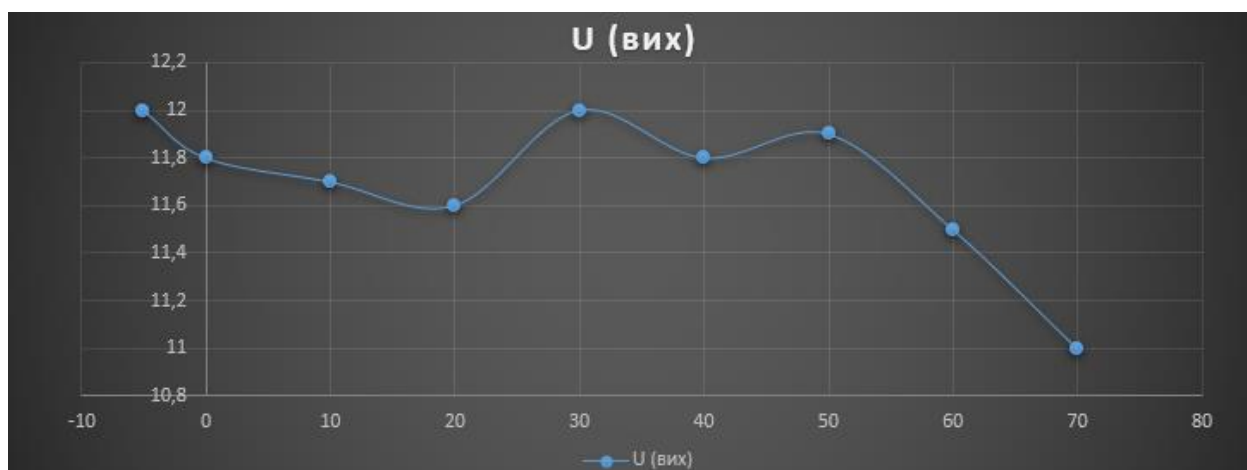


Рис. 3.15 Показує графік роботи приладу при ідеальних умовах і при максимально точному результаті

Отриманий графік був отриманий при віртуальній реалізації системи та з урахуванням компонентів та їх показників отриманих з офіційних datasheet від виробників. Наступні графіки будуть показувати похибку вихідної напруги при різних температурних показниках при експлуатації сонячних панелей.

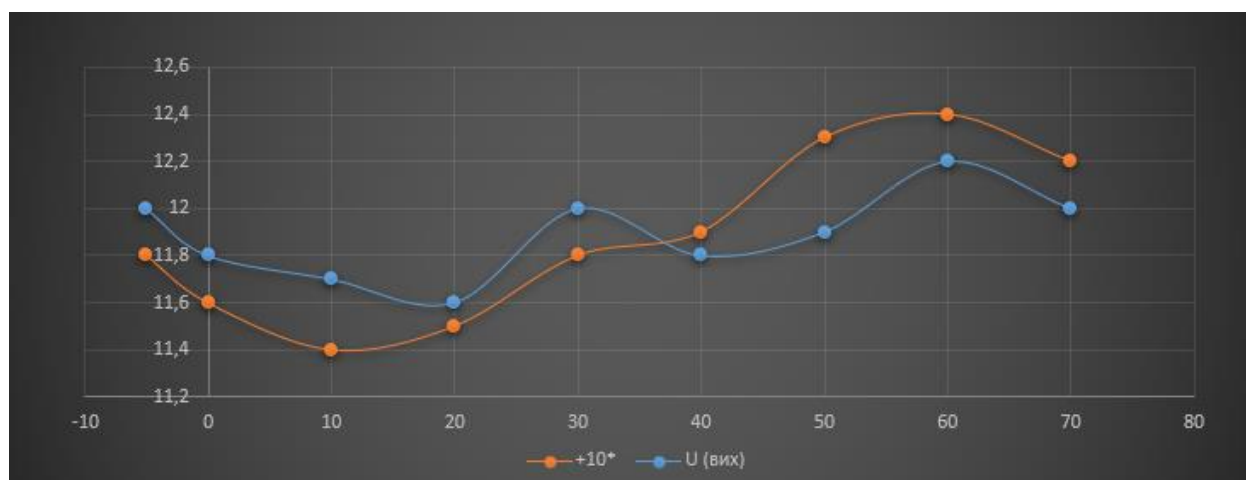


Рис. 3.16 При температурі + 10°C

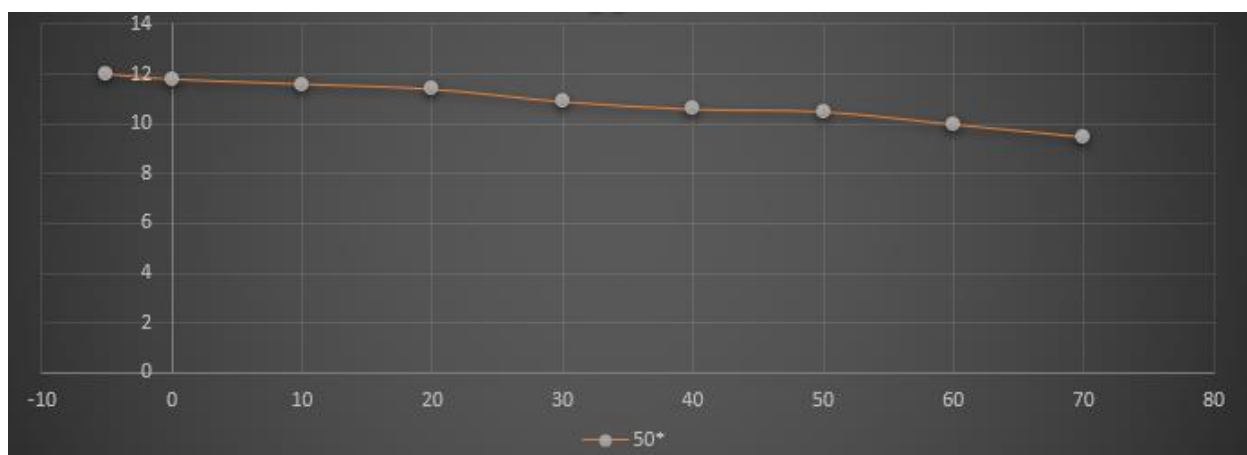


Рис. 3.17 При роботі системи – 50 °С

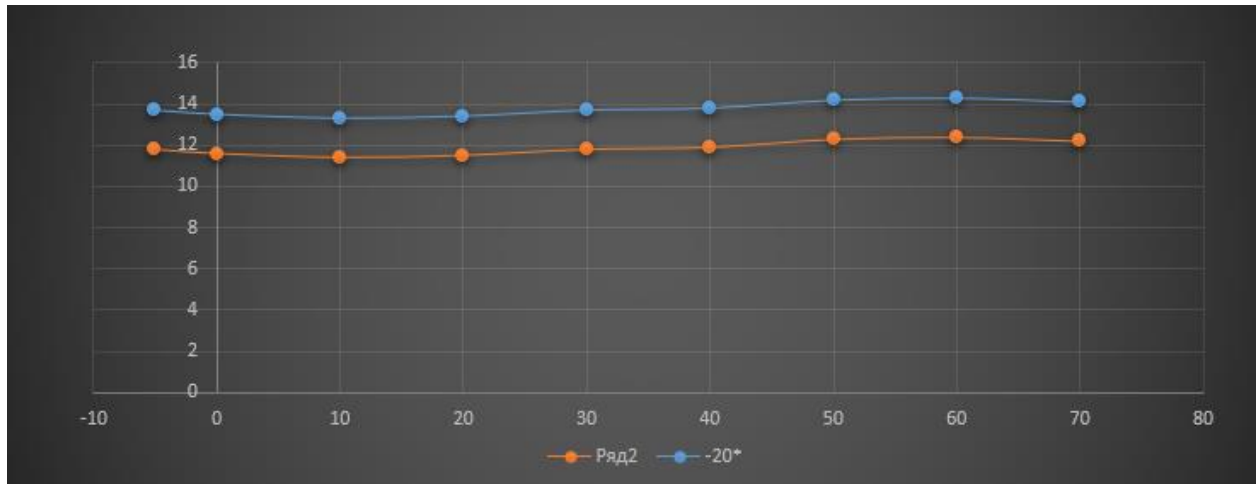


Рис. 3.18 При роботі системи – 20 °С

Згідно з отриманими графіками ми можемо спостерігати отримані дані при різних температурних ситуаціях. На цих графіках ми можемо спостерігати зсув в вихідній напрузі фотоелементів і завдяки цьому ми можемо вчасно проводити діагностичні та профілактичні операції.

Через зміну температурних умов потрібно буде підлаштувати систему під дану температурну ситуацію для того щоб сонячна панель видавала правильну вихідну напругу і цим самим продовжити її час експлуатації.

3.4 Розрахунок та аналіз похибок

Аналіз похибок зводиться до аналізу адитивних та мультиплікативних складових похибок кожного елемента схеми.

Так як коефіцієнти підсилення операційних підсилювачів досить малі, мультиплікативна похибка не буде суттєвою. Тому, розраховую похибки дрейфу напруги та струму операційних підсилювачів та інші адитивні складові сумарної похибки.

Аналіз адитивної складової похибки

Характеристики операційного підсилювача:

$$U_{\partial p} = 1.6 \mu V/^{\circ}C; \quad I_{\partial p} = 4 \text{ nA} / ^{\circ}C.$$

Похибка через дрейф напруги буде дорівнювати:

$$\gamma_{U_{др\mathcal{Q}}} = \pm \frac{\Delta U_{др}}{U_{\text{вх}}} \cdot 100\% \cdot \Delta t = \frac{1,6 \cdot 10^{-6}}{5} \cdot 100 \cdot 15 = 4,8 \cdot 10^{-4}\% \quad (3.1)$$

Похибка через дрейф струму буде дорівнювати:

$$\gamma_{I_{др\mathcal{Q}}} = \pm \frac{\Delta I_{др} \cdot R_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} \cdot 100\% \cdot \Delta t = \frac{4 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^3}{5} \cdot 100 \cdot 15 = 2,4 \cdot 10^{-3}\%; \quad (3.2)$$

Так як похибки розподілені за нормальним законом, СКВ даних похибок при довірчій імовірності $P=0,995$ становить :

$$\sigma [\gamma_{U_{др\mathcal{Q}}}] = \frac{\gamma_{U_{др\mathcal{Q}}}}{3} = \frac{0,000032 \cdot 15}{3} = 15,9 \cdot 10^{-5}\%; \quad (3.3)$$

$$\sigma [\gamma_{I_{др\mathcal{Q}}}] = \frac{\gamma_{I_{др\mathcal{Q}}}}{3} = \frac{0,00016 \cdot 15}{3} = 7,93 \cdot 10^{-4}\%; \quad (3.4)$$

АЦП вноситиме похибку квантування :

$$\gamma_{кв} = \frac{1}{2^n} \cdot 100\% = \frac{1}{1024} \cdot 100\% = 0,1\%, \quad (3.5)$$

де n – розрядність АЦП.

СКВ похибки квантування становитиме :

$$\sigma_{кв} = \frac{\gamma_{кв}}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 0,029\% \quad (3.6)$$

$$\sigma_{\gamma_{\text{ввх}}} = \frac{\gamma_{\text{ввх}}}{3} = \frac{0,1\%}{3} = 0,033\%;$$

Похибка, обумовлена температурними змінами опорів резисторів визначається температурними опорами резисторів обраної групи:

$$\alpha R = TKO = \pm 50 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}.$$

Тоді СКВ даної похибки становить:

$$\sigma [\alpha R] = \frac{\alpha R}{3} = 16,67 \cdot 10^{-4} \% . \quad (3.7)$$

Сумарне СКВ адитивної похибки дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma_{\varrho}} &= \sqrt{\sigma_{U_{ДРQ}}^2 + \sigma_{I_{ДРQ}}^2 + \sigma_{KB}^2} = \\ &= \sqrt{(15,9 \cdot 10^{-5})^2 + (79,3 \cdot 10^{-5})^2 + (288,67 \cdot 10^{-4})^2} = \\ &= \sqrt{(252,81 \cdot 10^{-10}) + (6288,49 \cdot 10^{-10}) + (8333036 \cdot 10^{-10})} = \\ &= \sqrt{8339577,3 \cdot 10^{-10}} = 2887,83 \cdot 10^{-5} = 0,00028 \approx 0,028\% \end{aligned} \quad (3.8)$$

Тоді сумарна адитивна похибка становитиме:

$$\gamma_{\Sigma_{\varrho}} = 3 \cdot \sigma_{\Sigma_{\varrho}} = 3 \cdot 0,028 = 0,086\% ; \quad (3.9)$$

Сумарне СКВ мультиплікативної похибки дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma_M} &= \sqrt{\sigma^2 [\varepsilon R] \cdot 2 + \sigma^2 [\alpha R] \cdot 2 + \sigma_{\gamma_{нел}}^2 + \sigma_{\delta_{атч}}^2} = \\ &= \sqrt{0,667^2 + 0,33^2 \cdot 2 + (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 2 + 0,033^2} = 0,815\% \end{aligned} \quad (3.10)$$

Сумарна мультиплікативна похибка буде рівною ($P=0,995$) :

$$\delta_{\Sigma} = 3 \cdot \sigma_{\Sigma_M} = 3 \cdot 0,815\% = 2,446\% = 2,5\% . \quad (3.11)$$

Похибка становитиме:

$$\gamma_{\Sigma_{\varrho}} = \gamma_{\Sigma_{\varrho}} + \delta_{\Sigma} = 0,086\% + 2,5\% = 2,532\% \approx 2,6\% ; \quad (3.12)$$

Отримані результати значень сумарної похибки вимірювальних каналів повністю задовольняють умовам завдання відносно границь зведених похибок.

ВИСНОВОК

В даному розділі проводиться огляд компонентів пропонованої системи, ознайомлення з протоколами передачі даних між мікроконтролерами та з серверами для отримання даних кінцевому користувачу, розрахунок та аналіз похибок. Мультиплікативна похибка операційних підсилювачів настільки мала що буде не суттєвою. Тому, розраховую похибки дрейфу напруги та струму операційних підсилювачів та інші адитивні складові сумарної похибки.

Похибка через дрейф напруги буде дорівнювати $\gamma_{U_{дрQ}} = 4,8 \cdot 10^{-4}\%$.

Похибка через дрейф струму буде дорівнювати: $\gamma_{I_{дрQ}} = 2,4 \cdot 10^{-3}\%$

Отримані результати значень сумарної похибки вимірювального каналу повністю задовольняє умовам завдання відносно границь зведених похибок.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ “ІНФОРМАЦІЙНО ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДЕГРАДАЦІЙ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ”

4.1 Опис ідеї проекту

Ми живемо в час розвитку нових технологій і завдяки інтернету ми маємо доступ до всіх джерел інформації і ми не обмежені своїм ринком технологій, а маємо доступ до будь-яких джерел і можемо купити будь-що. Але в даний час зелені технології тільки починають приймати обороти і набувати популярності тому в зв'язку з цим що ці технології не розвивалися відносно інших.

Сучасний ринок таких систем надає великий вибір серед виробників і різних розмірів для будь-яких задач від великих сонячних ферм до компактних панелей для зарядки свого телефону в будь-якій ділянці світу.

Враховуючи факт що існує дуже велика кількість пристроїв різної конструкції і під різні задачі, але в них всіх є свої обмеження і не доробки по конструкції приладів і виникає питання щоб задовольнити всі потреби і зробити системи більш гнучкими. Бо їх обслуговування досить просте, але ремонт виконати людина без спеціальної підготовки не в силі і є відсутність можливості проводити діагностування в реальному часі і в будь-який момент часу.

Одним із можливих методів вирішення проблем діагностики та подальшого виявлення несправності – це створення систем з універсальним доступом з будь-якого електронного пристрою для контролю системи. Але така система на універсальній основі буде призводити до зростання собівартості цих систем. Під час проектування даної системи будуть функції які будуть надлишкові і не будуть мати популярності серед користувачів, але це не раціональне використання системи.

В даному розділі буде розглянуто основні пункти стосовно опису проекту

- Зміст запропонованої ідеї;
- Напрямки застосування;
- Основні переваги для користувачів при впровадженні даної ідеї;

- Відмінність від аналогічних пристроїв діагностичних систем;

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Основа ідея даного проекту – це створення діагностичної системи для автоматизації роботи з панелями.	Діагностика сонячних панелей для перевірки і контролю параметрів роботи.	Можливість перевірки за допомогою смартфона
		Простий інтерфейс в першу чергу направлений на зручність використання рядового користувача.
		Має високу продуктивність та точність передачі даних

Розглядаючи пункт відмінність від аналогічних пристроїв діагностичних систем ми повинні розглянути як сильні так і слабкі сторони пропонованого товару для формування його характеристик та властивостей для його конкурентоспроможності.

Аналіз потенційних технічно-економічних переваг даної ідеї наглядно продемонстровано в таблиці 4.2 та передбачає:

- Визначення всіх технічно-економічних властивостей та характеристик даного товару
- Визначення кола конкурентів та товарів конкурентів які вже вийшли на ринок
- Порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні).

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	товари\концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
	Мій проект	Метод контрольної сонячної панелі	Тепловізор			
Універсальність	Підходить для будь-якої панелі яка знаходиться на ринку	Під кожному марку потрібно використовувати направлену сонячну панель	Потрібен індивідуальний підхід для кожної задачі	-	-	+
Якість діагностики	Висока	Низька	Висока	-	-	+
Екологічність	Екологічний та безпечний	Не екологічний та безпечний	Екологічний та безпечний	-	+	-
Собівартість	Низька	Висока	Середня	-	-	+
Вага	Мала	Значна	Середня	-	+	-
Можливість проведення діагностики дистанційно	Присутня	Відсутня	Відсутня	-	-	+

З шести проаналізованих характеристик, чотири для мого проекту є сильною стороною, дві нейтральних. З даних результатів можна зробити

висновок , що в проекті має велику кількість позитивних та сильних сторін а отже, це показує, що проект може стати успішним на високому рівні. Так як в проекті є слабкі сторони які можна допрацювати та вирішити їх на початковому етапі розробки то перспективність проекту може зрости.

4.2 Технологічний аудит проекту

В даному розділі буде освітлена технічна сторона проекту, а саме спектр можливих технологічних рішень. За допомогою таблиці 4.3 ми зможемо проаналізувати здійсненність проекту.

Таблиця 4.3 Вибір технології здійснення ідеї проекту

Ідея проекту	Технологія вироблення	Наявність технологій	Доступність
Виготовлення системи автоматичного нанесення інформації	Hand-made, вироблення товару своїми руками	Така технологія є в наявності.	Доступна технологія виготовлення, підходить для серійного виробництва
	Технологія виготовлення промисловим методом	Данна технологія наявна.	Доступна, але при підтримці інвесторів

Отже, за результатами аналізу приведеного в таблиці 4.3, можна зробити висновок, що найкращою технологією для виготовлення нашого товару буде промисловий метод на підставі конкретного технічного завдання підприємства.

Таблиця 4.4 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій

1.	Діагностика деградації сонячних панелей	Сучасний і структурно простий мікроконтролер	+	+
		Сучасний і технологічно конкурентний цифро- аналоговий перетворювач	+	+
		Інструментальний підсилювач	+	+
		Мова програмування (Асемблер/С)	+	+
		Прості й ефективні технологічні підходи до розробки ПЗ	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: інформаційно діагностична система оцінки параметрів деградації сонячних панелей (мікроконтролер + цифро-аналоговий перетворювач + підсилювач) з інструментарієм для організації ПО				

Створення пристрою для діагностики сонячних панелей не являється новою ідеєю, але головна проблема всіх сонячних панелей та що вони раніше використовувалися в сонячних фермах і тільки зараз вони приходять в народ для домашнього використання і так як на великих фермах є люди які займаються

обслуговуванням ферм і в них є опит використання та їх ремонту. Перш за все, варто зазначити що система побудована на мікроконтролеру дає значні переваги в розмірах пристрою та буде давати можливість досить довго залишатися на ринку та завдяки тому що архітектури мікроконтролерів не залежать від їх версій бо сімейство мікроконтролерів залишається не змінним. Використання нового сучасного ПО для смартфона дозволяє зробити систему більш простою в легкості застосування і просування в будь-якій сфері, що надає системі більш гнучкий характер розробки продукту що дає змогу користувачу не прив'язуватися до місця тобто дозволяє бути більш мобільним.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Перед тим як виходити на ринок потрібно провести моніторинг на ринкові загрози які можуть виникнути при впровадженні проекту. Доцільно буде використовувати отримані знання під час впровадження проекту.

У таблиці 4.5 Розглянута та описана характеристика потенційного ринку для стартап проекту

Таблиця 4.5 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000000 \ 353336 USD
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільно зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

*інформація бралася з розрахунку на те, що кожен прилад в мінімальній комплектації вартує 20000 гривень і кожен учасник в місяць продає щонайменше 5 приладів.

З показників що представлені в таблиці вище стає очевидно, що ринок який розглядається для введення даного приладу налічує велику кількість конкурентів, але самий ринок зростає і збільшується попит. Головною перешкодою для впровадження є те що на ринку присутні великі компанії з якими потрібно буде конкурувати за компаній виробників сонячних панелей.

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренти	Складність впровадити кращий функціонал	Значне зменшення ціни
2	Команда	Складність знайти спеціалістів для реалізації	Зручні та комфортні умови праці
3	Застарілість технології	Поява та поширення більш інноваційних і спрощених технологій	Перехід на більш новітні технології, та підсилення структури приладу
4	Реклама	Неправильний маркетинг	Залучення експертів у сфері
5	Системні збої	Перебої у підключенні до правильного ПО	Використання дуже надійних технологій

З таблиці вище можна побачити фактори, які можливо передбачають загрозу для успішності проекту. Як протидію цим факторам запропоновані контр дії, які мають покращити становище проекту в небезпечних ситуаціях. Проте, ці загрози не є критичними, оскільки більшість з них можна використати на користь проекту, такі як, наприклад, не ускладнювати продукт новим навантаженням

функціоналом, хоч і з новітніми технологіями, а зробити нахил на простоту і гнучкість у використанні, чого часто не вистачає на ринку. Отже, ці фактори загроз не є критичними і проаналізувавши результат, проект можна вважати надійним.

Однак, поряд із факторами загроз існують і певні фактори можливостей, які розглянути в таблиці 4.6.

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Швидкий притік клієнтів	Збільшення кількості клієнтів	Збільшення команди
2.	Необхідність витримувати великі навантаження	Потреба в безперервній роботі	Розробка системи із запасом міцності
3.	Популяризація дистанційного керування	Збільшення кількості клієнтів	Додаткове дистанційне управління
4.	Покращення комплектуючих	Збільшення точності системи	Розробка систем з різною точністю в залежності від вимог
5.	Збільшення кількості спеціалістів по розробці ПО	Підвищення кваліфікації робітників	Збільшення ефективності розробки.

Беручи до уваги перераховані фактори та проаналізувавши їх порівняння з ризиками, можна дійти висновку, що проект перекриває ризики своїми можливостями.

При виході на ринок важливим є розуміння та оцінка своїх конкурентів, їх можливостей та оцінка власної конкурентності. Також важливо враховувати їх можливий майбутній вплив на ринок та які дії варто передбачити

Таблиця 4.8 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Jinko Solar Trina JA Solar	Sharp Winaico BYD	SILICON LABS, INTREX	Контроль якості продукту	Поява більш зручної чи привабливого товару
Висновки:	Потужні конкуренти	Потенційний конкурент	Виробник мікросхем та додаткових пристроїв	Клієнти диктують усі умови роботи на ринку.	Перехід до виробництва більш привабливого товару

Таблиця 4.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Запропонована ціна значно нижче
2	Час розробки	Замовників цікавить мінімальний час розробки
3	Технології	Цей проект використовує найновіші й при цьому найдешевші технології
4	Точність	Замовників цікавить найточніше обладнання

5	Гнучкість	Можливість використовувати продукт в різних сферах і комбінувати його з іншим зовнішнім функціоналом
---	-----------	--

З наведених таблиць 4.8 та 4.9 очевидно, що фактори конкурентоспроможності являються суттєвими і несуть позитивний внесок при впровадженні нового програмного комплексного продукту-системи для генерації сигналів як експериментальних даних, що отримані для дослідження або як зразкові одиниці. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту, дуже висока точність, ціна.

Останнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), пов'язаних з його здійсненням.

Таблиця 4.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Ціна 2. Універсальність 3. Системні вимоги 4. Сучасні технології 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Значний час розробки системи 2. Слабкі можливості підтримки
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Швидкий зріст кількості клієнтів 2. Необхідність витримувати великі навантаження 3. Підвищення точності 4. Збільшення кількості спеціалістів 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Жорстка боротьба за клієнта 2. Досить велика кількість конкурентів 3. Малий досвід у налагодженні контактів з клієнтами

Базуючись на аналізі факторів загроз і факторів можливостей був створений та описаний їх перелік, що переважає або може переважати на ринку

під час впровадження стартап проекту. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. За результатами SWOT-аналізу можна побачити, що негативний вплив на діяльність компанії і розвиток продукту може чинити середовище ринку.

В таблиці 4.10 Можна буде переглянути моє бачення стратегій¹ розвитку даного стартап проекту

Таблиця 4.10 Базова стратегія розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія спеціалізації (передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися на лідерство по витратах у рамках сегменту лабораторних і наукових досліджень. Проте низька ринкова доля у разі невдалої реалізації стратегії може істотно підірвати конкурентоспроможність компанії.)
Стратегія охоплення ринку	Стратегія повного охоплення ринку (компанія прагне задовольнити потреби ринку в цілому. Ця стратегія може бути реалізована шляхом виготовлення сімейства універсальних веб-систем).
Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Покращення та здешевлення виробництва за рахунок масовості.

Базова стратегія розвитку	Стратегія концентрованого зростання (стратегія, яка пов'язана зі зміною продукту і (або) ринку. У разі дотримання стратегії компанія поліпшує веб-систему або починає виробляти нову, не змінюючи при цьому його призначення. Що стосується ринку, то компанія шукає можливості поліпшення свого становища на існуючому ринку або ж переходу на новий ринок).
---------------------------	---

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так, забирати існуючих	Ні	Стратегія наслідування лідеру

Стратегія лідерства по витратах передбачає, що компанія за рахунок чинників внутрішнього і/або зовнішнього середовища може забезпечити більшу, ніж у конкурентів маржу між собівартістю товару і середньо-ринковою ціною (або ж ціною головного конкурента). Зокрема, ця стратегія припускає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися

менших витрат. Ця стратегія зазвичай тісно пов'язана з можливістю досягнення ефекту масштабу і досвіду. Компанії, що вибирають цю стратегію, проводять ретельний контроль за постійними витратами, знижують виробничі, збутові і рекламні витрати, проводять інвестиції, спрямовані на зменшення витрат, ретельне опрацювання конструкції нових товарів. [1]

Переваги стратегії за Ж.-Ж. Ламбеном [1] :

- фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів;
- сильні клієнти не можуть добитися зниження ціни нижче рівня, прийнятного для найбільш сильного конкурента;
- низькі витрати забезпечують захист проти сильних постачальників, оскільки дають фірмі велику гнучкість у разі підвищення вхідних витрат;
- низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників.

В ході конкурентної боротьби з використанням цієї стратегії з ринку вимушені будуть піти фірми, менш ефективні з точки зору величини і структури витрат, нездібні до проведення технологічних новацій, спрямованих на зниження витрат.

Таблиця 4.12 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромож ні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
----------	--	---------------------------------	--	---

1	Якість та точність	Розширення первинного попиту	Висока якість продукту. Швидкість, гнучкість	Швидкість, гнучкість, якість
2	Обслуговування	Розширення первинного попиту	Відносно швидке обслуговування та гнучке встановлення	Легкість, мобільність, довгострокова гарантія
3	Ціна	Наступальна	Доступна цінова політика	Гнучкість, доступність

Основними вимогами до товару цільової аудиторії є якість та точність, ціна, обслуговування. Було обрано асоціації на базі вимог цільової аудиторії, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту – швидкість, мобільність та доступність.

Таблиця 4.13 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Запропонована ціна значно нижче
2	Час розробки	Замовників цікавить мінімальний час розробки
3	Технології	Цей проект використовує найновіші й при цьому найдешевші технології
4	Точність	Замовників цікавить найточніше обладнання

5	Гнучкість	Можливість використовувати продукт в різних сферах і комбінувати його з іншим зовнішнім функціоналом
---	-----------	--

4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.14 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.14 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Пристрій для дистанційного моніторингу в будь-який момент часу	Можливість проведення діагностики панелей в будь-який момент не прибігаючи до використання спеціалізованого обладнання	Універсальність та гнучкість застосування, сучасна апаратна частина та простота програмного забезпечення

Останньою складовою маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій потенційного товару, що спирається на попередньо обрану основу для позиціювання та проаналізовану специфіку поведінки клієнтів. Тому, таблиця 4.11 відображає основні переваги та вигоди, які пропонує товар, та які вирізнялися б з-поміж конкурентів.

У таблиці 4.15 розглянуто опис моделі товару та всіх її рівнів.

Таблиця 4.15 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
--------------	----------------------

I. Товар за задумом	Інформаційно діагностична система оцінки параметрів деградації сонячних панелей		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Вр
	2. Швидкодія	М	Тх
	3. Модель дефектів	М	Тл
	4. Блокування некоректних дій	М	Тх
	5. Умови експлуатації	Нм	Ор
	Якість: ГОСТ, ISO		
	Пакування: пристрій безконтактного нанесення інформації та пакет базового програмного забезпечення		
Марка: поки що відсутня			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: потребує навичок, які забезпечує технічна підтримка		
	Після продажу: Гарантійне обслуговування 1 рік		
За рахунок чого програмне забезпечення буде захищено: для користування ним для кожного користувача буде видаватися паспорт пристрою			

Опис рівнів моделі товару показав, що основний задум даного стартап проекту полягає у проектуванні й реалізації інформаційно діагностичної системи деградації сонячних панелей. Перевагою цієї системи є точність, простота у використанні та ціна. До продажу і після продажу на них очікує технічна підтримка. Проект буде захищено шляхом ліцензії.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів та доходів споживачів продукту (таблиця 4.14).

Таблиця 4.16. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	-	1500-4000 \$	100000 – 300000 грн	750 – 1500 \$

Виконавши аналіз рівня цін на товари-замінники, рівень цін на товари-аналоги та рівень доходів цільової групи споживачів було сформовано нижню 750 \$ та верхню 1500 \$ межі встановлення ціни на товар, що дає цінову перевагу перед товарами конкурентів.

Таблиця 4.17. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення з підписанням договору купівля- продаж	Встановлення контактів зі споживачами, їх підтримка; Чітка доставка в строки, та без помилки в розрахунках.	Виробник безпосереднь о продає товар клієнту	Прямий продаж безпосередньо від виробника; непрямий - через системи типу «інтернет»; від виробника на замовлення підприємств

Зазначені функції збуту, глибина каналу формують оптимальну систему збуту, яка відбуватиметься через сайт розробника, прямий продаж безпосередньо від виробника, від виробника на замовлення підприємств. Завдяки цьому можна

легко встановлювати контакти зі споживачами та їх подальшу підтримку, організовувати дослідницьку роботу зі збору маркетингової інформації та розробку і реалізацію програм підтримки лояльності клієнтів.

Таблиця 4.18 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користують ся цілові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомлен ня	Концепція рекламного звернення
1	Покупець організація- споживач оцінює характеристик, технічну компетентність та здатність забезпечити умови постачання	Виставки, інтернет	Технічні характеристи ки, якість, зовнішній вигляд, сучасні технології	Поширення характерист ик продукту	Демонстрація переваг нашого продукту перед існуючим и аналогам и

Зважаючи на те, що цілові клієнти більшу частину інформації про нові програми отримують через тематичні виставки, мережу Інтернет, то доцільними ключовими позиціями було обрано: сучасні технології, технічні характеристики системи. Завданням рекламного повідомлення є зацікавлення та позиціювання товару новим клієнтам.

4.6 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що на даний момент попит на систему є значним. Це можна підтвердити позитивною динамікою ринку та потребою потенційних клієнтів у використанні складних систем.

Конкуренція на ринку України в цій області є не сильно вагомою, ми маємо багато переваг для легкого входу на український ринок. За кордоном також існують успішні компанії, що працюють у цій сфері, проте наявні фактори конкурентоспроможності роблять можливим і навіть цілком реальним вихід на закордонний ринок.

Цільовою аудиторією є різні компанії які надають можливість використання як домашніх систем та і великих промислових ферм. Найкраще з усіх альтернатив було досліджено, після чого було прийнято рішення максимально збільшити точність та зробити таку систему простою та гнучкою у застосуванні.

До продажу і після продажу на користувача очікує технічна підтримка. Програмне забезпечення буде захищено шляхом ліцензії.

Зважаючи на те, що цільові клієнти більшу частину інформації про нові програми отримують через тематичні виставки, мережу інтернет, то доцільними ключовими позиціями було обрано: сучасні технології, технічні характеристики та параметри системи. Завданням рекламного повідомлення є зацікавлення та позиціонування товару новим клієнтам.

Усе більше компаній переходять на автоматизовані системи проведення діагностики без використання великої кількості робочою сили які б займалися обслуговуванням та звісно ж економія часу яку можуть надавати дані системи. Завдяки тому що дані системи створенні на основі мікропроцесорних пристроїв, що мають зручний інтерфейс та прості у використанні для застосування у найрізноманітніших сферах, застосовуючи сучасне кастомне програмне забезпечення та підходи. Реалізація та впровадження запропонованого проекту є доцільним, оскільки технології та проекти в промисловій сфері розвиваються і ще більше будуть популярні й затребувані у майбутньому.

Джерела використаної літератури

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C>
2. <https://joule.net.ua/ua/articles/scho-take-sonyachna-batareya>
3. <https://solarsystem.com.ua/ru/blog/prychyny-vtraty-produktyvnosti-sonyachnyh-batarej-osnovni-defekty/>
4. <https://rentechno.ua/ua/blog/soiling-solar.html>
5. <https://rentechno.ua/ua/blog/energy-storage-disruptors-2.html>
6. <https://www.solartec.eu/ru/rozsahle-instalace/%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0-%D1%84%D0%B2%D1%8D%D1%81/%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
7. <http://doszt.gov.ua/ru/teplovizionnoe-obsledovanie-solnechnyh-paneley-2/>
8. <https://alternative-energy.com.ua/vocabulary/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B-%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D0%B5/>
9. <https://solarfox-energy.com/chto-takoe-pid-ili-degradatsiya-solnechnyh-panelej/#1>
10. <https://ekotechnik.in.ua/ru/pid-sonyachnyh-batarey/>
11. <https://eco-tech.com.ua/a260708-degradatsiya-solnechnyh-panelej.html>
12. Light induced defect creation kinetics in thin film protocrystalline silicon materials and their solar cells / R. Wronski, J.M. Pearce,

R.J. Koval et al. // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 715, 2002. P. A.13.4.1–A.13.4.12.

13. Kolodziej A., Krewniak P., Nowak S. Technology of the thin silicon solar cells // Report for the State Committee for Scientific Research on realization of the Goal Orientated Research, Project No. PBZ KBN 05/T11/98, AGH, Kraków, 2003.

14. Kolodziej A., Krewniak P., Nowak S. Improvements in silicon thin film solar cell efficiency // Opto-Electron. Rev. 11, 2003. P. 71–79.

15. Street R.A., Guha S. Technology and Applications of Amorphous Silicon. Berlin: Springer, 2000. P. 1–100, 252–305.

16. Application of deposition phase diagrams for the optimisation of a- Si:H-based materials and solar cells / R.W. Collins, A.S. Ferlauto, G.M. Ferreira, et al. // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 762, 2003. P. A10.1.1–A10.1.12.

17. Karpov V.G. Physics of CdTe Photovoltaics from Front to Back // Invited talk F10.1, MRS Spring Meeting, March 28 – April 1, San Francisco, CA. 2005.

18. Shvydka D., Rakotoniaina J.P., Breitenstein O. Lock-in thermography and nonuniformity modeling of thin-film CdTe solar cells // Appl. Phys. Lett. 84, 729, 2004.

19. Sites J. R., Nagle T. J. Cu-related recombination in CdS/CdTe solar cells // Proc. 31th IEEE, PVSC, Orlando, Florida January 3-7, 2005.

20. McMahon T. J., Berniard T. J., Albin D. S. Nonlinear shunt paths in thin-film CdTe solar cells // J. Appl. Phys., 97, 054503, 2005.

21. Karpov V. G., Shvydka D., Roussillon Y. E2 phase transition: Thin- film breakdown and Schottky-barrier suppression // Phys. Rev. B 70, 155332, 2004

22. Karpov V.G., Shvydka D., Roussillon Y. // 31th IEEE, PVSC, Orlando, Florida, 2005.

23. Albin D.S.. Accelerated Stress Testing and Diagnostic

Analysis of Degradation in CdTe Solar Cells // SPIE Optics+Photonics Meeting
Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components and Systems San
Diego, California August 10–14, 2008

24. Воронков Э.Н. Неравновесные процессы в тонких пленках полупроводников с неупорядоченной структурой: Автореф. дисс. д-ра физ. - мат. наук. -М., 1992. – 42 с.
25. Воронков Э.Н. Исследование конденсированных слоев теллурида кадмия и разработка пленочных фотодиодов и фоторезисторов на их основе: Дисс. канд. физ. -мат. наук. -М., 1967. – 139 с.
26. Солнечная панель. [Электронный ресурс].Режим доступа
: <https://elektro.in.ua/home-catalog/solnechnye-paneli/solnechnaya-panel-longi-lr6-60-290-w.html>
27. Staebler D.L., Wronski C.R. Reversible conductivity changes in dischargeproduced amorphous Si // Appl. Phys. Lett. 31, 1977. P. 292–294.
28. Stutzmann M. Metastability in amorphous and microcrystalline semiconductors // Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices: Materials and Device Physics, edited by J. Kanicki, MA: Artech House, Norwood, 1992. P. 129–187.
29. Winer K. Defect formation in a-Si:H // Phys. Rev. B41, 1990. P. 12150–12161. 21.
30. Street R.A. Hydrogenated Amorphous Silicon. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1991.

31. Deposition and extensive light soaking of highly pure hydrogenated amorphous silicon / T. Kamei, N. Hata, A. Matsuda, T. Uchimya et al. // Appl. Phys. Lett. 68, 1996. P. 2380–2382.
32. Stutzmann M. Metastability in amorphous and microcrystalline semiconductors // Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices: Materials and Device Physics, edited by J. Kanicki, MA: Artech House, Norwood, 1992. P. 129–187.
33. Kolodziej A. Staebler–Wronski effect in amorphous silicon and its alloys // OptoElectron. Rev., 12, no. 1, 2004.